



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE PRO ELEKTROMOBILITU

USE OF SOLAR ENERGY FOR ELECTROMOBILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Harant

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2019

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Miroslav Harant

ID: 164803

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Využití solární energie pro elektromobilitu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Potenciál současného trhu s elektromobily
2. Auta poháněná solární energií a jiné mobilní aplikace na solární pohon
3. Srovnání konvenčního automobilu a elektromobilu z hlediska účinnosti využití slunečního záření
4. Návrh komplexního dobíjecího a přečerpávacího systému solární nabíjecí stanice
5. Realizace a měření na funkčním vzorku solárního systému pro elektromobil

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

HARANT, M. Využití solární energie pro elektromobilitu. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2019, 70 stran.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Využití solární energie pro elektromobilitu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 22. 5. 2019

.....

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o využití solární energie pro elektromobilitu. Nejdříve je teoreticky rozebrán potenciál elektromobility na současném trhu. Do této problematiky patří zejména výrobci elektricky poháněných vozidel, problematika akumulace elektrické energie a jsou zde popsány reálné aplikace rychlonabíjecích a fotovoltických nabíjecích stanic. V další části jsou rozebrány elektromobily, které pro svou funkci využívají sluneční energii a jsou porovnány vzhledem k účinnosti s automobily se spalovacími motory. Hlavní částí této práce je návrh fotovoltické nabíjecí stanice pro elektromobily. Závěrečná část pojednává o ekonomickém zhodnocení navržené nabíjecí stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektromobil; solární elektromobil; akumulace elektrické energie; elektromotor; nabíjecí systémy pro elektromobily; ostrovní fotovoltický nabíjecí systém

ABSTRACT

The thesis deals with the use of solar energy for electromobility. First, the potential of electromobility on the current market is theoretically discussed. This issue includes mainly the producers of electrically powered vehicles, the issue of electric energy storage and the real applications of fast charging and photovoltaic charging stations. In the next part, electric cars are analyzed, which use solar energy for their function and their efficiency is compared with the efficiency of combustion engines. The main part of this thesis is the design of photovoltaic charging station for electric vehicles. The final part deals with the economic evaluation of the proposed charging station.

KEY WORDS:

electric vehicle; solar electric vehicle; electric energy storage; electric engine; charging systems for electric cars; off-grid photovoltaic charging system

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 8 |
| SEZNAM TABULEK | 10 |
| SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ..... | 11 |
| 1 ÚVOD..... | 14 |
| 2 ELEKTROMOBILITA A JEJÍ POTENCIÁL NA SOUČASNÉM TRHU..... | 15 |
| 2.1 HISTORICKÝ VÝVOJ | 15 |
| 2.2 VÝROBCI ELEKTRICKY POHÁNĚNÝCH VOZIDEL..... | 16 |
| 2.2.1 TESLA..... | 16 |
| 2.2.2 ŠKODA AUTO | 17 |
| 2.2.3 PROTERRA A SOR..... | 18 |
| 2.3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE | 19 |
| 2.3.1 LCO | 20 |
| 2.3.2 LMO | 20 |
| 2.3.3 NMC | 21 |
| 2.3.3.1 LFP | 22 |
| 2.3.3.2 NCA..... | 22 |
| 2.4 NABÍJECÍ STANICE A INFRASTRUKTURA..... | 23 |
| 2.5 ZÁSUVKY PRO NAPÁJENÍ ELEKTROMOBILU | 25 |
| 2.6 INDUKČNÍ NABÍJENÍ | 26 |
| 2.6.1 DYNAMICKÉ INDUKČNÍ NABÍJENÍ | 26 |
| 3 ELEKTROMOBILY A NABÍJECÍ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÍCÍ SOLÁRNÍ ENERGII | 28 |
| 3.1 ELEKTROMOBILY NA SOLÁRNÍ ENERGII | 28 |
| 3.1.1 LIGHTYEAR | 30 |
| 3.1.2 SONO MOTORS | 31 |
| 3.2 WORLD SOLAR CHALLENGE..... | 34 |
| 3.2.1 TŘÍDA CHALLENGER..... | 35 |
| 3.2.2 TŘÍDA CRUISER..... | 35 |
| 3.2.3 TŘÍDA ADVENTURE | 35 |
| 3.2.4 SOLÁRNÍ ELEKTROMOBILY KATEGORIE CHALLENGER A CRUISER | 36 |
| 3.3 SOLÁRNÍ NABÍJECÍ STANICE..... | 38 |
| 3.3.1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK | 38 |
| 3.3.2 TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ | 38 |
| 3.3.3 VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU | 38 |
| 3.3.4 STRÍDAČ..... | 40 |
| 3.3.5 REGULÁTOR | 41 |
| 3.3.6 ROZDĚLENÍ FV SYSTÉMŮ PODLE ZAPOJENÍ..... | 42 |
| 3.3.7 TYPY SOLÁRNÍCH NABÍJECÍCH STANIC PRO ELEKTROMOBILY..... | 44 |
| 4 SROVNÁNÍ AUTOMOBILU A ELEKTROMOBILU Z POHLEDU SOLÁRNÍ ÚČINNOSTI.... | 49 |
| 4.1 ÚČINNOST SPALOVACÍHO MOTORU | 49 |
| 4.2 ELEKTROMOTORY | 50 |
| 4.2.1 ZTRÁTY ELEKTROMOTORU | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2 ÚČINNOST ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU | 51 |
| 4.3 ÚČINNOST SOLÁRNÍHO ELEKTROMOBILU | 52 |
| 4.4 SHRNUÍ..... | 52 |
| 5 NÁVRH SOLÁRNÍ NABÍJECÍ STANICE | 54 |
| 5.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELY | 54 |
| 5.2 REGULÁTOR SMARTSOLAR MPPT 150/35..... | 55 |
| 5.3 VYROVNÁVAČ NAPĚTÍ A MONITORING BATERIE..... | 56 |
| 5.4 STŘÍDAČ..... | 57 |
| 5.5 NÁVRH ELEKTROINSTALACE | 58 |
| 5.5.1 DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ | 59 |
| 5.5.2 VOLBA JISTÍCÍCH PRVKŮ | 60 |
| 5.6 NÁVRATNOST INVESTICE..... | 62 |
| 6 ZÁVĚR..... | 63 |
| POUŽITÁ LITERATURA | 64 |
| PŘÍLOHY | 70 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|-----------|
| <i>Obr. 1 Model elektromobilu EV1 od automobilky General Motors [5].....</i> | <i>16</i> |
| <i>Obr. 2 Tesla model 3 [12].....</i> | <i>17</i> |
| <i>Obr. 3 Koncept Vision E od Škoda Auto [13]</i> | <i>18</i> |
| <i>Obr. 4 Vývoj ceny na metrickou tunu lithia. [20]</i> | <i>19</i> |
| <i>Obr. 5 Princip činnosti Li-ion baterie [22].....</i> | <i>20</i> |
| <i>Obr. 6 Porovnání Li-ion článku vzhledem k hustotě energie [23]</i> | <i>23</i> |
| <i>Obr. 7 Mapa dobíjecích stanic v ČR [25]</i> | <i>23</i> |
| <i>Obr. 8 Evropská mapa Superchargerů [28]</i> | <i>24</i> |
| <i>Obr. 9 Základní typy konektorů [26].....</i> | <i>25</i> |
| <i>Obr. 10 Vizualizace dynamického indukčního nabíjení [31]</i> | <i>27</i> |
| <i>Obr. 11 Energetický mix České republiky v roce 2017 [33]</i> | <i>28</i> |
| <i>Obr. 12 Jednoduché schéma solárního automobilu [34]</i> | <i>29</i> |
| <i>Obr. 13 Rozmístění fotovoltaických článků na elektromobilu Sion [39]</i> | <i>32</i> |
| <i>Obr. 14 Dodatečný dojezd v kilometrech za den [39].....</i> | <i>32</i> |
| <i>Obr. 15 Typy podporovaných zástrček pro elektromobil Sion [39]</i> | <i>33</i> |
| <i>Obr. 16 Trasa závodu World Solar Challenge [44].....</i> | <i>34</i> |
| <i>Obr. 17 Solární elektromobil Nuna9 od Nuon Solar Team[51].....</i> | <i>36</i> |
| <i>Obr. 18 Solární elektromobil Stella Vie[52]</i> | <i>37</i> |
| <i>Obr. 19 Solární elektromobil Tokai Challenger[56]</i> | <i>37</i> |
| <i>Obr. 20 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku [58]</i> | <i>39</i> |
| <i>Obr. 21 Vliv teploty na napětí naprázdno fotovoltaického článku [58]</i> | <i>40</i> |
| <i>Obr. 22 Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [21]</i> | <i>40</i> |
| <i>Obr. 23 Princip funkce regulátorů PWM a MPPT [62]</i> | <i>42</i> |
| <i>Obr. 24 Schéma systému Grid-off [58]</i> | <i>43</i> |
| <i>Obr. 25 Schéma zapojení systému Grid-on v zeleném bonusu [58].....</i> | <i>43</i> |
| <i>Obr. 26 Schéma zapojení systému Grid-on ve výkupním tarifu [58]</i> | <i>44</i> |
| <i>Obr. 27 Schéma hybridního FV systému [63]</i> | <i>44</i> |
| <i>Obr. 28 Solární nabíječka od společnosti Elektromobil s.r.o. [65]</i> | <i>45</i> |
| <i>Obr. 29 Solární nabíječka od BMW [66]</i> | <i>46</i> |
| <i>Obr. 30 Solární nabíječka od Envision Solar [67]</i> | <i>46</i> |
| <i>Obr. 31 Parkoviště společnosti Kyocera [68]</i> | <i>47</i> |

| | |
|--|-----------|
| <i>Obr. 32 Nabíjecí stanice PRE v Praze. [69]</i> | <i>48</i> |
| <i>Obr. 33 Účinnost asynchronních elektromotorů podle IEC 60034-30-1[78].....</i> | <i>52</i> |
| <i>Obr. 34 Dvouvodičové zjednodušené schéma zapojení regulátoru SmartSolar MPPT 150/35[82]</i> | <i>56</i> |
| <i>Obr. 35 Dvouvodičové schéma zapojení dvou vyrovnávačů napětí a měřičem BMV 700 od firmy Victron Energy pro tři gelové baterie zapojené do série.</i> | <i>57</i> |
| <i>Obr. 36 Střídač Pure Sine Wave Inverter[85]</i> | <i>58</i> |
| <i>Obr. 37 Návratnost investice do FV systému</i> | <i>62</i> |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|-----------|
| <i>Tab. 1 Technické parametry článku LCO [23]</i> | <i>20</i> |
| <i>Tab. 2 Technické parametry článku LMO[23]</i> | <i>21</i> |
| <i>Tab. 3 Technické parametry článku NMC[23]</i> | <i>21</i> |
| <i>Tab. 4 Technické parametry článku LFP [23]</i> | <i>22</i> |
| <i>Tab. 5 Technické parametry článku NCA [23]</i> | <i>22</i> |
| <i>Tab. 6 Doby nabíjení elektromobilů s kapacitou baterie kolem 20 kW [26]</i> | <i>25</i> |
| <i>Tab. 7 Rozdělení nabíjecích výkonů podle standardu IEC 61851-1 [29]</i> | <i>25</i> |
| <i>Tab. 8 Srovnání aerodynamických odporů na Tesla Model S a Volkswagen Golf [34]</i> | <i>29</i> |
| <i>Tab. 9 Parametry použitého fotovoltaického panelu Axitec[81]</i> | <i>54</i> |
| <i>Tab. 10 Technická specifikace regulátoru SmartSolar MPPT 150/35[82].....</i> | <i>55</i> |
| <i>Tab. 11 Technická specifikace vyrovnávače napětí od Victron Energy[83].....</i> | <i>56</i> |
| <i>Tab. 12 Technické parametry měřiče BMV 700 [84].....</i> | <i>57</i> |
| <i>Tab. 13 Technická specifikace střídače Pure Sine Wave Inverter[85]</i> | <i>58</i> |
| <i>Tab. 14 Cenová kalkulace fotovoltaického systému.....</i> | <i>62</i> |

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|-----------------|---|
| AC | střídavý proud |
| AM | vzduchová hmota |
| B1 | referenční způsob uložení vodičů |
| CCS | kombinovaná zástrčka pro napájení elektromobilu typu CCS |
| CO ₂ | oxid uhličitý |
| C-rate | míra rychlosti nabíjení a vybíjení baterie vzhledem k její kapacitě |
| ČR | Česká republika |
| ČSAD | Československá státní autobusová doprava |
| DC | stejnoseměrný proud |
| DPH | daň z přidané hodnoty |
| FV | fotovoltaika |
| HP | koňská síla |
| LCO | akumulátor |
| LFP | akumulátor na bázi lithia a železného fosfátu |
| LMO | akumulátor na bázi lithia a oxidu hořčíku |
| Mennekes | zástrčka pro napájení elektromobilu typu Mennekes |
| MHD | městská hromadná doprava |
| MPPT | systém hledání maximálního výkonu |
| N | polovodič typu N |
| NCA | akumulátor na bázi lithia a hliníkovo kobaltového oxidu |
| NiCd | nikl-kadmiové akumulátory |
| NiMH | akumulátory s kovovým hydridem |
| NMC | akumulátor na bázi lithia a oxidu hořčíku s niklem |
| OLEV | on-line electric vehicle systém |
| P | polovodič typu P |
| PWM | pulsní šířková modulace |
| SCAME | zástrčka pro napájení elektromobilu typu SCAME |
| SchuKo | německý název pro jednofázové zásuvky s ochrannými kontakty |
| STC | standardní testovací podmínky |
| V2X | systém vehicle to everything |
| Yazaki | zástrčka pro napájení elektromobilu typu Yazaki |

| | | |
|-----------------|-------------------|--|
| A | [m ²] | plocha |
| CdA | [-] | aerodynamický odpor |
| Cd | [-] | koeficient odporu |
| Crr | [-] | valivý odpor |
| FF | [-] | činitel plnění |
| f | [Hz] | frekvence |
| Hu | [J/kg] | dolní výhřevnost paliva |
| I | [A] | elektrický proud |
| I _B | [A] | proudové zatížení vodiče |
| I _{B1} | [A] | proudové zatížení vodiče na vstupní straně regulátoru |
| I _{B2} | [A] | proudové zatížení vodiče na výstupní straně regulátoru |
| Imp | [A] | proud v maximálním bodě výkonu |
| I _N | [A] | jmenovitý proud pojistky |
| I _{N1} | [A] | jmenovitý proud pojistky na vstupní straně regulátoru |
| I _{N2} | [A] | jmenovitý proud pojistky na výstupní straně regulátoru |

| | | |
|---------------------|---------------------|--|
| I_{Nk1} | [A] | maximální dovolený proud vodiče na vstupní straně regulátoru |
| I_{Nk2} | [A] | maximální dovolený proud vodiče na výstupní straně regulátoru |
| I_{p1} | [A] | vypínací proud pojistky na vstupní straně regulátoru |
| I_{p2} | [A] | vypínací proud pojistky na výstupní straně regulátoru |
| I_{sc} | [A] | zkratový proud fotovoltaického panelu |
| I_Z | [A] | dovolený proud vodiče |
| I_{Z1} | [A] | dovolený proud vodiče na vstupní straně regulátoru |
| I_{Z2} | [A] | dovolený proud vodiče na výstupní straně regulátoru |
| I_{1k} | [A] | proudové přetížení na vstupní straně regulátoru přepočítané na okolní teplotu |
| I_{2k} | [A] | proudové přetížení na výstupní straně regulátoru přepočítané na okolní teplotu |
| k | [-] | přepočítavací součinitel okolní teploty |
| l_{FV} | [m] | délka vodiče na vývodech z fotovoltaických panelů |
| $l_{vodič1}$ | [m] | délka navrženého vodiče na vstupní straně regulátoru |
| $l_{vodič2}$ | [m] | délka navrženého vodiče na výstupní straně regulátoru |
| m | [kg] | hmotnost |
| M_p | [kg] | hmotnost paliva |
| m_{pe} | [g/kWh] | měrná spotřeba paliva |
| N_i | [Kč] | investiční náklady |
| η | [-] | účinnost |
| η_{ef} | [-] | celková efektivní účinnost spalovacího motoru |
| η_i | [-] | indikovaná účinnost |
| η_m | [-] | mechanická účinnost |
| P | [W] | elektrický výkon |
| P_{bat} | [W] | výkon baterie |
| P_e | [W] | efektivní užitečný výkon |
| P_{FV} | [Wp] | celkový generující výkon fotovoltaiky |
| P_{FVrok} | [kWh] | výroba elektrické energie fotovoltaického systému za jeden rok |
| P_i | [W] | indikovaný užitečný výkon |
| P_{mech} | [W] | mechanický výkon |
| P_{mot} | [W] | výkon motoru |
| P_{mpp} | [Wp] | výkon fotovoltaických panelů v bodě maximálního výkonu |
| P_{sun} | [W] | výkon dodávaný pomocí fotovoltaické elektrárny |
| P_1 | [W] | elektrický příkon statorového vinutí |
| ΔP | [W] | celkové ztráty elektromotoru |
| ΔP_{fe} | [W] | výkonové ztráty v železe |
| ΔP_{mech} | [W] | mechanické ztráty |
| $\Delta P_{přid}$ | [W] | přídavné ztráty |
| ΔP_{rotor} | [W] | výkonové ztráty ve vinutí rotoru |
| ΔP_{stator} | [W] | výkonové ztráty ve vinutí statoru |
| ρ_{Cu} | [$\Omega mm^2/m$] | rezistivita měděného vodiče |
| s | [m] | přeskoková vzdálenost |
| S_{azba} | [Kč/kWh] | distribuční sazba |
| S_{FV} | [mm^2] | průřez vodiče na vývodech z fotovoltaických panelů |
| $S_{vodič1}$ | [mm^2] | průřez navrženého vodiče na vstupní straně regulátoru |
| $S_{vodič2}$ | [mm^2] | průřez navrženého vodiče na výstupní straně regulátoru |
| t_v | [s] | doba přetavení pojistky |
| τ | [s] | časová oteplovací konstanta |
| τ_4 | [s] | časová oteplovací konstanta vodiče na vstupní straně regulátoru |
| τ_6 | [s] | časová oteplovací konstanta vodiče na výstupní straně regulátoru |

| | | |
|---------------------|------|---|
| U | [V] | elektrické napětí |
| U_{cPV} | [A] | maximální provozní napětí svodiče přepětí |
| U_f | [V] | fázové napětí |
| U_{mp} | [V] | napětí v maximálním bodě výkonu |
| U_{oc} | [V] | napětí naprázdno fotovoltaického panelu |
| U_2 | [V] | napětí na výstupní straně regulátoru |
| ΔU_1 | [V] | úbytek napětí na vstupní straně regulátoru |
| ΔU_2 | [V] | úbytek napětí na výstupní straně regulátoru |
| ΔU_{FVE} | [V] | úbytek napětí na vývodech z fotovoltaických panelů |
| $\Delta U_{vodič1}$ | [V] | úbytek napětí navrhovaného vodiče na vstupní straně regulátoru |
| $\Delta U_{vodič2}$ | [V] | úbytek napětí navrhovaného vodiče na výstupní straně regulátoru |
| ΔU_{svorky} | [V] | úbytek napětí na svorkách |
| ϑ_z | [°C] | nejvyšší provozní teplota vodiče s PVC izolací |
| $\vartheta_{okolí}$ | [°C] | okolní teplota |
| ϑ_{dov} | [A] | maximální dovolené oteplení PVC izolace při proudovém přetížení |

1 ÚVOD

Ve světě je otázka budoucnosti a udržitelnosti stále aktuálnější téma. Vliv na to mají i současné diskuze za zlepšení klimatické a ekologické situace. S tím souvisí i téma dopravy, jako například paliva, efektivita spalování, emise a další. Proto se nabízí velmi diskutované téma – elektromobilita.

Cílem této práce je nastínit problematiku elektromobility. Rozebrat v teoretické rovině možnosti solárního elektromobilu. Zjistit v teoretické rovině výhody a nevýhody solární elektromobilu s konvenčním automobilem se spalovacím motorem. A rovněž navrhnout fotovoltaický systém pro účely nabíjení elektromobilu.

Tato práce se dá rozdělit do čtyř celků

První část této diplomové práce se zabývá potenciálem a rozvojem elektromobility. Jsou zde představeny elektromobily od současných výrobců. Dále je v této kapitole rozebrána problematika lithiových baterií, nabíjecí infrastruktura, typy konektorů pro připojení elektromobilu k nabíjecím stanicím a indukční nabíjení během jízdy.

Druhá kapitola pojednává o elektromobilech na solární pohon a o nově vznikajících automobilových společnostech, které mají své pilotní projekty svých solárních elektromobilů. Tato část se dále zabývá solárními elektromobily v závodu World Solar Challenge a možnostmi solárních nabíjecích stanic.

V následující třetí kapitole je okruh týkající se srovnání účinnosti elektromobilu a konvenčního elektromobilu z pohledu solární účinnosti.

V závěrečné části je uveden návrh a ekonomická návratnost ostrovního fotovoltaického systému pro účely nabíjení elektromobilů City-El a Citroen Berlingo Electric.

2 ELEKTROMOBILITA A JEJÍ POTENCIÁL NA SOUČASNÉM TRHU

Tato kapitola bude pojednávat o tom, jak se zvedá trend využití elektromobilů, co je jeho příčinou, jaké to bylo na počátku využití elektrické energie v dopravě a proč se vývoj v minulosti zastavil. Dále zde budou uvedeny firmy, které svou činností přispívají pro rozvoj elektromobility, rozebrána problematika lithiových baterií a pojednání o nabíjecí infrastruktuře.

2.1 Historický vývoj

Historie elektromobility se datuje k počátku 19. století, kdy v roce 1835 bylo navrženo první malé elektricky poháněné vozidlo holandským profesorem Sibrandus Stratinghem. V následujících letech se zde objevilo mnoho konstruktérů, kteří se elektromobilitou zajímali. Viděli v ní potenciál, protože elektromobil měl jednoduchou konstrukci a nízkou hlučnost. Na území České republiky se o využití elektrické energie pro dopravu zajímal elektrotechnik a vynálezce dr. Ing. František Křižík. Jeho první vůz z roku 1895 byl poháněný stejnosměrným elektromotorem s výkonem 3,6 kW, který byl napájen pomocí olověného akumulátoru se 42 články. Křižík zkonstruoval celkem tři prototypy, ale kvůli rozvíjející se elektrifikaci v Rakousku-Uhersku, neměl čas se elektromobilitou nadále zabývat. Jedním z dalších konstruktérů je například Charles Jeantaud, který v roce 1898 sestrojil závodní elektricky poháněné vozidlo. Jeho vůz dokázal jet rychlostí 92 km/h a vážil 1300 kg, přičemž hmotnost samotných akumulátorů byla 950 kg. O rok později v roce 1899 překonal Belgičan Camille Jenatton se svým vozem rychlostní hranici 100 km/h.[1][2][3]

Na počátku 20. století probíhaly experimentální průzkumy půd a ropné společnosti našly nová ložiska ropy. Tyto nálezy zapříčinily snížení cen benzínu a naftařská lobby vycítila příležitost rychle zbohatnout. K tomu všemu vynalezl Charles Kettering v roce 1912 startér. Tím se odstranilo náročné startování klikou, což byla další značná nevýhoda vůči elektromobilům. Díky těmto skutečnostem automobilka Henry Ford zahájila hromadnou výrobu aut se spalovacími motory za 500-1000 amerických dolarů a tím se staly dostupné pro širokou veřejnost. Cena spolehlivého elektrického roadsteru se pohybovala v tehdejší době kolem 1750 dolarů, a proto nemohla konkurovat konvenčním vozidlům se spalovacím motorem.[1][2][3]

V Kalifornii koncem 90. let byla natolik špatná kvalita ovzduší, že úřady nařídily, aby alespoň 10% všech prodaných aut bylo bez emisí. Problému se chopila automobilka General Motors, která představila prototyp elektromobilu, jenž nesl název Impact. Následujícím vývojem sestavila první funkční automobil na elektrickou energii v roce 1996, kterého nazvali EV1. Ten se stal prvním masově vyráběným elektromobilem své doby. Byl tichý, rychlý a zároveň mohl urazit na jedno nabití až 120 km. Měl snadnou údržbu a neprodukoval emise oproti konvenčnímu automobilu, který za každý spálený 1 litr benzínu produkoval 2 gramy CO₂ do ovzduší. Byl velmi žádaný mezi veřejností a tvořily se na něj fronty. Ropné společnosti tvrdili, že dopad EV1 na životní prostředí je pochybný, ačkoli bylo vypracováno několik studií, které dokazovali pravý opak. V roce 2003 bylo zrušeno bezemisní nařízení a automobilová společnost General Motors zastavila výrobu EV1 z podnikatelských důvodů.[4]



Obr. 1 Model elektromobilu EV1 od automobilky General Motors [5]

V současné době se začíná od konvenčních automobilů na spalovací motory ustupovat k elektricky poháněným vozidlům. Přispívá k tomu zejména velká kapacita a přijatelná hmotnost současných vyráběných lithiových baterií. Přesto se stále hledají lepší materiály, které by byly ekonomicky výhodnější s lepšími technickými parametry. Dále pak největším přínosem je vliv na životní prostředí, protože elektricky poháněné vozidlo neprodukuje během jízdy žádné emise. Tyto emise mohou vzniknout však při výrobě elektrické energie např. v uhelných elektrárnách. Tato práce se však bude fokusovat o využití elektrické energie pro nabíjení vozidla z fotovoltaických panelů. Díky tomu bude elektromobil šetrný na životní prostředí a emise při využití elektromobilu mohou vzniknout při samotné výrobě vozidla v továrnách.

2.2 Výrobci elektricky poháněných vozidel

V celosvětovém měřítku přibývá firem, které k elektromobilitě směřují. Vidí v ní obrovský potenciál. Z důvodů ekologických, příchodu nových technologií a také díky vývoji a inovacím jednotlivých elektronických prvků. Příkladem mohou být lithiové baterie, které umožní větší dojezdovou vzdálenost, regulátory, měniče apod. Naopak co může být přítěží, je nedostatek elektrické energie pro nabití elektromobilu. Konkrétním příkladem je Dánsko, kde se podporoval prodej elektromobilů a teď nemají dostatečnou nabíjecí síť. Dalším nepříznivým prvkem je dlouhá doba nabíjení.

2.2.1 Tesla

Největší podíl na startu elektromobilového průmyslu v současnosti se přiklání k Elonu Muskovi a jeho firmě Tesla Motors. Jeho obchodní strategický plán je založen na výrobě drahých vozidel. Prodej prvních modelů by částečně pokrylo náklady na výzkum a inovace do nových modelů, které by měli cenu jako vozidla střední cenové kategorie. Dnes vyrábí Tesla Motors tři své modely a to: Tesla model S, Tesla model X a Tesla model 3. Poslední zmíněný model elektromobilu, který byl v roce 2017 představen, je už v této střední cenové kategorii a byl již umístěn do velkovýroby. Všechny modely jsou přizpůsobeny tak, aby mohly být nabíjeny z nabíjecích sítí Superchargerů, které také buduje tato firma. Tyto nabíjecí stanice dokážou nabít například Tesla model 3 na 80 % během 20 minut. Každý model je vyráběn ve více verzích podle přání zákazníka. Největší rozdíl v ceně a výkonu vozidla závisí ve velikosti baterie. Ta se pohybuje od 60 kWh do 100 kWh. Pro další příklady může být koupě nového vozu implementována za příplatek autopilota, vyhřívaná sedadla, vyhřívaná zpětná zrcátka, elektricky poháněné sedačky a podobné prvky komfortního charakteru.

Tesla model S s výkonem baterie 75 kWh urazí na jedno nabití až 417 km. Jeho verze se 100kWh urazí 540 km. Jeho počáteční cena s menší baterií je 70 000 eur bez DPH. Tento model disponuje indukčním třífázovým elektromotorem, jehož výkon je 416 HP na zadní nápravu. V případě požadavku lze doplnit přední nápravu o elektromotory. Jsou-li všechny čtyři kola vybaveny elektromotory tak se dosáhne výkonu až 691 HP. Jeho maximální rychlost je 250 km/h a zrychlení z 0 na 100 km/h zvládne za 4,2 sekundy. Tento model má třífázovou palubní nabíječku, která má nabíjecí výkon 11kW.[6][7]

Tesla model X je elektricky poháněné SUV, s možností výběru velikosti baterie od 75 kWh do 100 kWh. Přičemž s menší baterií urazí 381 km a s větší až 474 km. Náhon má na všechny čtyři kola. Pohon je obstarán indukčním třífázovým elektromotorem o výkonu 503/259 HP na zadní a 259 HP na přední nápravu. Maximální rychlost tohoto modelu je 250 km/h a z 0 na 100 km/h zvládne za 4,8 sekundy. Je také vybaven třífázovou palubní nabíječkou, která má nabíjecí výkon 11 kW. Záruka tohoto modelu je 8 let na nekonečno najetých mil na baterii a pohonný systém.[8][9]

Tesla model 3 je nejnovější model, jehož výroba začala v létě v roce 2017. Produkce výroby se odhaduje ke konci roku na 5000 elektromobilů za týden. I tento vůz bude vyráběn ve dvou variantách a to ve verzi Standard a Long Range. Výroba Long Range verze začala v roce 2017, jeho základní cena je 44 000 dolarů. Nabízí dojezd až 500 km, maximální rychlost 225 km/h a zrychlení z 0 na 100 km/h za 5,1 sekund. Verze Standard se začne vyrábět v první polovině roku 2018. Prodejní cena začíná na 35 000 dolarech. Dojezdovou vzdálenost má stanovenou na 352 km, dokáže jet maximální rychlostí až 210 km/h a zrychlí z 0 na 100 km/h za 5,6 sekundy. Prozatím se vyrábí pouze s jedním motorem vzadu. Podobně jak u minulých modelů je v něm palubní nabíječka, ale pro tento model má menší nabíjecí výkon 7,68 kW. Jako součást standardní výbavy je do vozu implementována navigace, wi-fi, hlasové ovládání, zadní kamera, bluetooth volání a elektrická zpětná zrcátka.[10][11]



Obr. 2 Tesla model 3 [12]

2.2.2 Škoda Auto

Česká automobilka Škoda Auto již na jaře roku 2017 na autosalonu v Šanghaji představila svoji studii Vision E a díky jeho vzhledu sklídl plno pozitivních ohlasů. Jde o prvotní koncept čistě elektricky poháněného vozidla této firmy a tedy ani tato automobilka nezaostává za světovým směrem v oblasti elektromobility. Prozatím připravovala a vyrábí hybridní automobily. Koncept Vision E by měl mít k dispozici dojezd přibližně 500 km na jedno nabití. Součástí by

měly být čtyři elektromotory o celkovém výkonu 225 kW, možnost indukčního nabíjení, maximální rychlost kolem 180 km/h, vynikající hospodárnost provozu. Zároveň má konkurovat i novému připravovanému SUV Tesla model Y. Velkým lákadlem by měl být také systém autonomní jízdy. V roce 2021 by chtěla mít společnost Škoda ve své nabídce první elektromobil, který by měl vycházet ze studie Vision E. Do roku 2025 je plánované (vedle dosavadních plug-in hybridních automobilů) umístit do nabídky až pět plně elektricky poháněných vozů. [13][14]

Mezi důvody, proč se automobilka nehlásila k výrobě elektromobilů je hned několik. Mezi hlavní problémy patří vysoké výrobní náklady, omezený dojezd vozů nebo také slabě rozvinutá infrastruktura nabíjecích stanic v klíčových zemích, kde Škoda své vozy prodává. Zlom by měl nastat právě v roce 2020, kdy má přijít zpřísnění emisních norem v Evropě a Asii. A také díky stále se rozšiřující se síti nabíjecích stanic po celé Evropě. V České republice je dle dohody mezi automobilkami a dodavateli elektrické energie plánovaná výstavba více než 1300 nabíjecích stanic.[14]

Jelikož jde pouze o koncept budoucnosti, byl nejdříve namodelován pomocí počítače. Přičemž se konstruktéři a designéři snažili maximálně propojit estetiku, ergonomii a funkčnost s tím, co by bylo možné technicky vyrobit. Poté byl vyfrézován hliněný model a následně se testovala funkčnost všech navržených částí. Na základě testů se sestavil model životní velikosti, který byl reprezentován automobilkou na mezinárodních veletrzích.[15]



Obr. 3 Koncept Vision E od Škoda Auto [13]

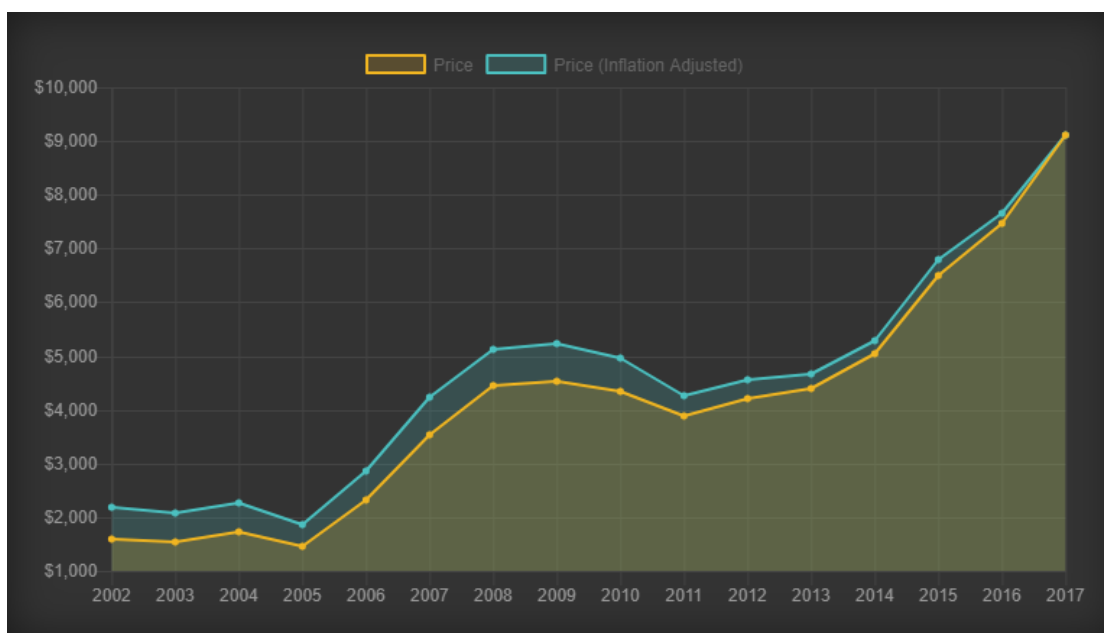
2.2.3 Proterra a SOR

Firma Proterra se svým vývojem zaměřila směrem k dopravnímu prostředku, který by sloužil v oblasti hromadné dopravy. V roce 2017 představila tato společnost elektrobuses Catalyst E2, který je připraven na výrobu jako standardní model. V jeho útrobách spočívá velké množství akumulátorů o celkové akumulační energii 660 kWh. Normální akumulátory by byly velké jako celý autobus a proto tato firma začala spolupracovat se druhým největším výrobcem akumulátorů na světě LG Chem. Společně vyvinuly akumulátory, jejichž hustota akumulační energie je 160Wh/kg a 260 Wh/l. Těmito akumulátory se zaručuje v reálném provozu dojezd až 563 km na jedno nabití. Má nízké provozní náklady a Proterra tvrdí, že se ekonomicky vzhledem ke klasickému autobusu poháněnými fosilními palivy výrazně vyplatí.[16][17]

V tuzemsku se město Hranice rozhodlo, že zdejší MHD bude přepravovat od začátku roku 2018 cestující pouze pomocí elektrobusesů. Stali se prvním městem na území České republiky, jehož celá MHD přešla na elektropohon. Autobusy města Hranice celkově najezdí ročně 250 000 km. Přechodem na elektobusy se předpokládá snížení roční produkce oxidu uhličitýho o 200 tisíc tun. Elektrobusesy jsou tak tiché, že bylo nutné je uměle nějakým způsobem ozvučnit kvůli bezpečí – zejména chodců. Plánovaný dojezd se pohybuje kolem 250 km, což je pro potřeby města Hranice dostatečné. Umístění centra pro dobíjení elektrobusesů bude v areálu výrobního závodu CETRIS. Provozovatelem autobusů a od nového roku i elektrobusesů je společnost ČSAD Frýdek-Místek a.s., která zakoupila nové elektrobusesy od společnosti SOR verze vozu EBN 9,5. Z názvu vyplývá že se jedná o elektrobusesy délky 9,5 metrů. Technická dokumentace [18] říká, že verze EBN 9,5 má asynchronní šestipólový motor s výkonem 120 kW a kroutícím momentem 968 Nm. Dále uvádí, že konstrukční rychlost vozu je 80 km/h, výrobce li-ion akumulátorů je Winston Battery jejichž akumulační energie činí 172 kWh a vůz celkově pojme 70 cestujících.[19]

2.3 Akumulace elektrické energie

Pojem akumulace elektrické energie má za cíl nahromadit a uchovat určité množství elektrické energie pro pozdější využití v požadované kvalitě. V dnešní době jsou vhodné lithiové baterie pro mobilní aplikace z provozně technicky ekonomického hlediska. Avšak s potenciálem, který lithium nese, roste i jeho cena. Na počátku 21. století se cena lithia pohybovala na nízké úrovni. Z obrázku 4 je vidět strmý růst ceny lithia z důvodu jeho využití v elektrotechnickém průmyslu.

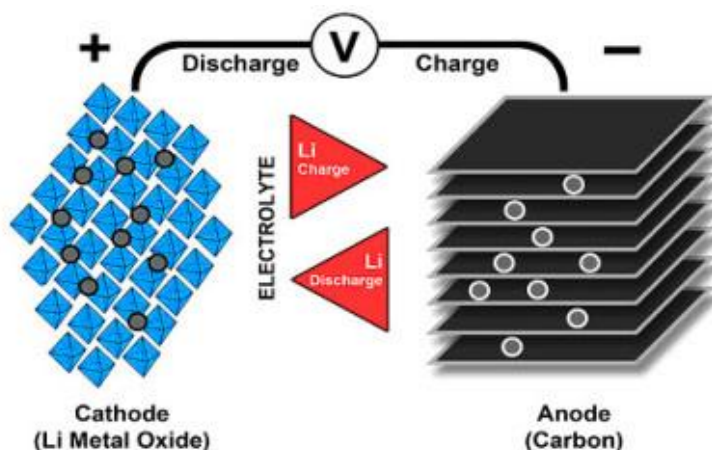


Obr. 4 Vývoj ceny na metrickou tunu lithia. [20]

Díky tomu, že je lithium lehký kov, mají baterie poměrně malou hmotnost na instalovanou kWh. Mezi přednosti lithiových baterií lze zařadit jejich větší akumulační schopnost, bezúdržbový provoz. Z velké míry je odstraněno jejich samovybíjení a je možné je úplně vybit bez ztráty elektrické energie. Dále mají dobrou reakční rychlost nabíjení a vybíjení. Jsou tedy dobré pro dynamický provoz. Jejich životnost se pohybuje kolem 3000 nabíjecích cyklů a jsou více šetrné k životnímu prostředí od jejich výroby a následné recyklace oproti ostatním článkům.[21]

Praktická realizace je tvořena oxidem lithia a přidáním jiného kovu. Anoda lithiového článku je vyrobena z porézního uhlíku, katoda z oxidu kovů a elektrolyt je tvořen lithiovou solí například LiPF_6 , rozpuštěných v organických karbonátech.[21]

Lithium-ion využívá katodu (kladnou elektrodu), anodu (zápornou elektrodu) a elektrolytu jako vodiče. Katoda je složena z oxidu kovu a anoda se skládá z porézního uhlíku. Během vybíjení proudí ionty od anody ke katodě přes elektrolyt a separát. Nabíjení reverzuje směr toků iontů od katody k anodě.[22]



Obr. 5 Princip činnosti Li-ion baterie [22]

2.3.1 LCO

Jeho vysoká kapacita činí dobrou volbou pro mobilní telefony, notebooky a digitální fotoaparáty. Baterie se skládají z katody oxidu kobaltu a uhlíkové anody. Nevýhodou těchto baterií je relativně krátká životnost, nízká tepelná stabilita a omezené zatížení. Další nevýhoda těchto baterií je uhlíková anoda, která omezuje životnost cyklu změnou pevného elektrolytového rozhraní. Novější systémy zahrnují nikl, mangan anebo hliník, které zlepšují životnost, zatížení a náklady.[23]

| Lithium Cobalt Oxide - katoda, uhlíková anoda | |
|---|--|
| Napětí | nominální 3,6V; typický provozní rozsah (3-4,2)V |
| Hustota energie | (150-200) Wh/kg |
| Nabíjení C-rate | (0,7-1)C; nabíjení na 4,2V; typický nabíjecí čas 3h; nabíjení nad 1C poškozuje baterii |
| Vybíjení C-rate | 1C; dovolené vybití do 2,5V; Při vybíjení nad 1C se zkracuje životnost článku |
| Maximální teplota | 150°C |
| Životnost | 500-1000 cyklů |
| Aplikace | Mobilní telefony, tablety, notebooky, kamery |
| Poznámka | Vysoká kapacita článku. Kobalt je drahý kov. |

Tab. 1 Technické parametry článku LCO [23]

2.3.2 LMO

Katoda je složena z krystalického oxidu lithia manganitého. Díky této chemické kombinaci se sníží vnitřní odpor a baterie poskytuje lepší iontový průtok na elektrodách. Další výhodou je vysoká tepelná stabilita na úkor zhoršení životnosti. Nízký vnitřní odpor článků umožňuje rychlé nabíjení díky většímu proudu. Vysoké zatížení by způsobilo nahromadění tepla, a proto by teplota článku neměla překročit 80 °C. Tento typ má zhruba o třetinu nižší kapacitu než články

LCO. Výzkum se však přiklání ke kombinaci Li-manganu s kobaltem, niklem, manganem nebo hliníkem jako katodovým materiálem. Tyto tři kovy, lze volit tak, aby zvyšovaly kapacitu, schopnost zatížení nebo zvyšovaly životnost baterie. Někdy se přidává k anodě malé množství křemíku, který zapříčiní zvýšení kapacity baterie až o 25 %. To má ale za následek snížení životnosti, protože křemík se vlivem nabíjení a vybíjení zvětšuje a zmenšuje, což způsobuje mechanické namáhání.[23]

| Lithium Manganese Oxide - katoda, uhlíková anoda | |
|--|--|
| Napětí | nominální 3,8V; typický provozní rozsah (3-4,2)V |
| Hustota energie | (100-150) Wh/kg |
| Nabíjení C-rate | (0,7-1)C max. 30C; nabíjení na 4,2V |
| Vybíjení C-rate | 1C; dovolené vybití do 2,5V |
| Maximální teplota | 250°C |
| Životnost | 300-700 cyklů |
| Aplikace | Elektrické nářadí, zdravotnické přístroje, elektrické pohony |
| Poznámka | Vysoký výkon ale mají méně kapacity. |

Tab. 2 Technické parametry článku LMO[23]

2.3.3 NMC

Tato baterie disponuje katodovou kombinací lithia, niklu, manganu a kobaltu. Podobně jako u LMO může mít anoda přidané množství křemíku a tím zvýšit kapacitu až na 4000 mAh a vyšší, ale při snížení zatížitelnosti a menší životnosti. Výrobci baterií odcházejí od systémů kobaltu k niklovým katodám kvůli vysoké ceně kobaltu. Systémy na bázi niklu mají vyšší energetickou hustotu, nižší náklady a delší životnost než kobaltové, ale mají mírně nižší napětí. [23]

Díky sloučení niklu a manganu dosáhneme stabilně kapacitního článku. Nikl je známý svou vysokou kapacitou, ale špatnou stabilitou. Pomocí manganu dosáhneme nízkého vnitřního odporu, ale naopak nabízí nízkou kapacitu. Kombinací těchto dvou kovů dosáhneme pozitivního výsledku. Složení záporné elektrody je v tomto případě jedna třetina niklu, jedna třetina manganu a jedna třetina kobaltu. To nabízí jedinečnou směs, která rovněž snižuje náklady na suroviny v důsledku sníženého obsahu kobaltu. Jsou však možné různé poměry těchto kovů, a to tak, aby vyhovovaly širokému spektru aplikací pro automobilové a energetické skladovací systémy.[23]

| Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide - katoda, uhlíková anoda | |
|--|--|
| Napětí | nominální 3,7V; typický provozní rozsah (3-4,2)V |
| Hustota energie | (150-220) Wh/kg |
| Nabíjení C-rate | (0,7-1)C; nabíjení na 4,2V; typický nabíjecí čas 3h; nabíjení nad 1C poškozuje baterii |
| Vybíjení C-rate | 1C ; dovolené vybití do 2,5V |
| Maximální teplota | 210°C |
| Životnost | 1000-2000 cyklů |
| Aplikace | Elektrická kola, zdravotnické přístroje, elektromobily |
| Poznámka | Poskytuje vysokou kapacitu a výkon. Je využíván jako hybridní článek. |

Tab. 3 Technické parametry článku NMC[23]

2.3.3.1 LFP

Jako katodový materiál je v tomto typu baterie použit lithium-fosfát. Nabízí dobrý elektrochemický výkon s nízkým odporem. Mezi hlavní výhody patří vysoký proud, dlouhá životnost a dobrá tepelná stabilita. Je také odolnější vůči podmínkám plného nabití a je méně namáhaný než jiné lithium-iontové systémy, pokud jsou udržovány na vysokém napětí. Avšak má vyšší samovybíjení než ostatní lithium-iontové baterie. Dále je tato baterie náchylná na nízké teploty. Důsledek toho je snížení výkonu a v extrémních případech by mohla nepříznivě ovlivnit funkci baterie.[23]

| Lithium Iron Phosphate - katoda, uhlíková anoda | |
|---|---|
| Napětí | nominální 3,3V; typický provozní rozsah (2,5-3,65)V |
| Hustota energie | (90-120) Wh/kg |
| Nabíjení C-rate | 1C; nabíjení na 3,65V; typický nabíjecí čas 3h |
| Vybíjení C-rate | 1C a 25C na nějaké články; dovolené vybití do 2,5V (pod 2V způsobí poruchu) |
| Maximální teplota | 270°C |
| Životnost | 1000-2000 cyklů |
| Aplikace | Pro mobilní aplikace, které potřebují trvalé vysoké proudy |
| Poznámka | Jeden z nejběžnějších Li-ion baterií. Zvýšené samovybíjení. Malé náklady. |

Tab. 4 Technické parametry článku LFP [23]

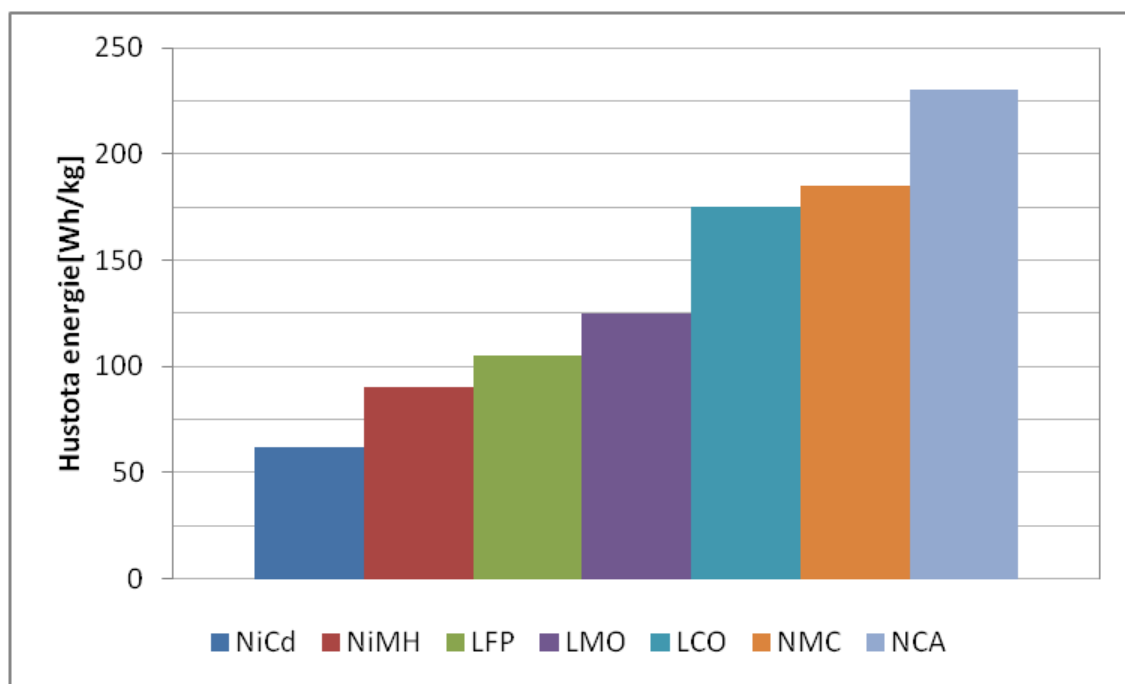
2.3.3.2 NCA

Katoda je složena kombinací lithia, niklu, kobaltu a oxidu hlinitého. Přidáním zmíněného oxidu hlinitého se dosáhne lepší chemické stability. Tento typ nabízí vysokou kapacitu, přiměřeně dobrý výkon, dlouhou životnost a je tedy vhodným kandidátem pro elektricky poháněná vozidla. Jediné negativum u tohoto typu článku je jeho vysoká cena.[23]

| Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide - katoda, uhlíková anoda | |
|---|--|
| Napětí | nominální 3,6V; typický provozní rozsah (3-4,2)V |
| Hustota energie | (200-260) Wh/kg; předvídatelně mohou mít až 300 Wh/kg |
| Nabíjení C-rate | 0,7C, nabíjení na 4,2V; je umožněno rychlo nabíjení u některých článků |
| Vybíjení C-rate | 1C; dovolené vybití na 3V |
| Maximální teplota | 150°C |
| Životnost | 500 cyklů |
| Aplikace | Průmysl, zdravotnictví, elektromobily |
| Poznámka | Jsou podobné LCO článkům. Uchovávají velké množství energie. |

Tab. 5 Technické parametry článku NCA [23]

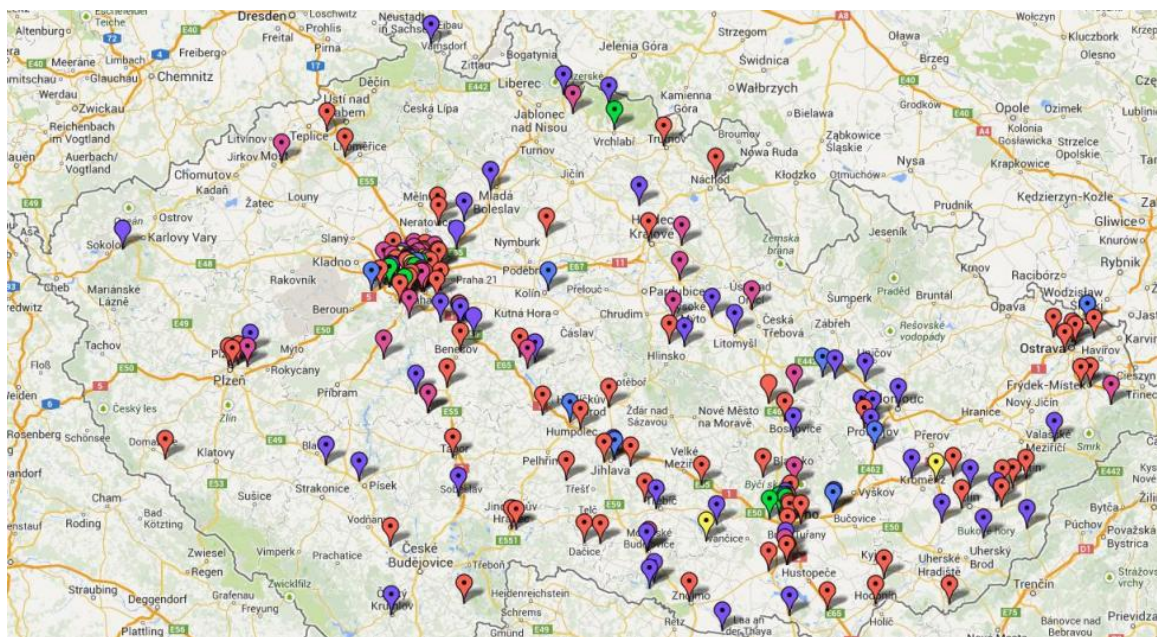
Porovnáním výše zmíněných lithiových článků nám z obrázku 6 vychází, že nejlepší hustotu energie mají články NCA. Díky tomuto faktu se využívají nejen v elektromobilech značky Tesla, ale můžeme se s nimi setkat i v elektromobilech jiných výrobců. Pro srovnání jsou v grafu také uvedeny hustoty energie článků NiCd a NiMH, které zřetelně zaostávají před novými lithiovými články.



Obr. 6 Porovnání Li-ion článku vzhledem k hustotě energie [23]

2.4 Nabíjecí stanice a infrastruktura

Aby bylo možné běžně využívat elektromobily, tak je nezbytné vybudovat komplexní dobíjecí síť podobně, jako existuje u konvenčních automobilů. Což je nezbytné k rozšíření poptávky a tím i samotné výroby elektromobilů. V České republice aktuálně existuje přibližně 250 dobíjecích stanic. Z toho většina z nich jsou jednoduché stanice na AC proudy a mají malé nabíjecí výkony v řádech několika kW. Většina těchto stanic je vybudovaná v areálech středních škol a jejich způsob využívání je často formou domluvy. Zbytek těchto nabíjecích stanic byl vybudován tuzemskými distributory elektřiny.[24]



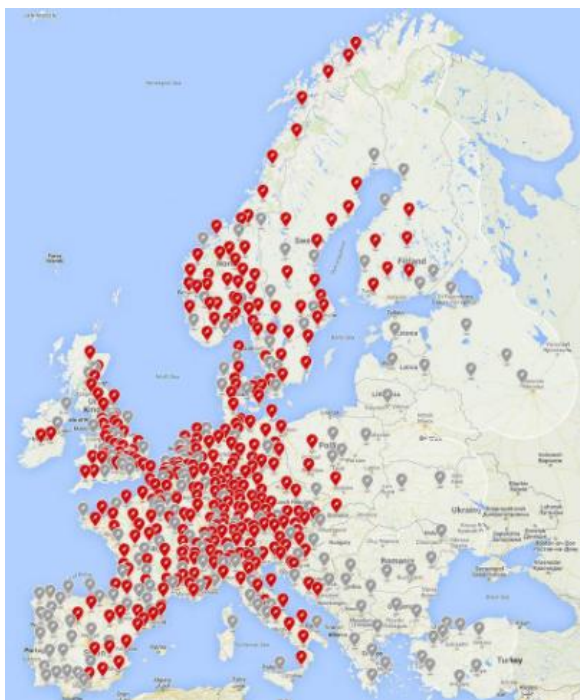
Obr. 7 Mapa dobíjecích stanic v ČR [25]

Je potřebné vybudovat různé typy nabíjecí infrastruktury, aby se našla optimální rovnováha mezi plným nabitím elektromobilu a zvykem uživatelů k danému místu:

- Kompletní nabití baterie elektromobilu během nočních hodin (dlouhé zastávky) v domovní nebo ve vyhrazené síti, se může uskutečnit v rozmezí 6 až 8 hodin.
- Naopak v časovém intervalu 1 až 2 hodin (krátké zastávky). Je potřeba rychlejšího nabíjení s přesně nastaveným ukončením.
- V případě dlouhých cest baterie zpravidla nevystačí a je nutné rychlé nabití, aby řidič mohl pokračovat v cestě. Spolehlivé nabití ve velmi krátkém čase například obstarají Superchargery.[26]

Na území celé západní Evropy je situace kolem dobíjecích stanic přívětivější. Zasloužil se o to výrobce Tesla, který mimo elektromobilů staví i nejvýkonnější dobíjecí stanice, které nazval Superchargery. Tyto nabíjecí stanice jsou kompatibilní pouze s elektromobily stejné značky. Stanice nabíjí při DC proudu s výkonem 120 kW, přičemž může nabíjet hned dvě auta současně. V případě nabíjení dvou vozů se výkon rovnoměrně rozdělí na obě vozidla a každé bude nabíjeno 60 kW. Indikátor stupně nabití umožní, že když je jedno vozidlo téměř nabitě, tak se výkon rozdělí v poměru 1:4. Během 30 minut je schopen nabít až 80 % baterie, což vystačí přibližně na 250 km. Je-li požadavek nabití baterie na 100 %, tak se nabíjecí doba výrazně zvýší až na 90 minut. Tesla plánuje navýšit v budoucnu nabíjecí výkon na 150 kW.[27]

V České republice je tato stanice postavena u dálnice D1 u sjezdu na Humpolec a nově byla také zprovozněna v Praze. Dále Tesla plánuje strategicky vybudovat Supercharger také v Olomouci, který leží v hlavní dopravní tepně. Na obrázku 8 je vidět, jak dominantní je zastoupení Superchargerů na území Evropy. Červené body na mapě jsou již vybudované dobíjecí stanice a šedě značené jsou stanice plánované.[28]



Obr. 8 Evropská mapa Superchargerů [28]

Domácí nabíjení je při výkonu 3 kW. Tento výkon charakterizuje jedno fázové připojení k síti nízkého napětí. Nabíjecí zařízení, které s tímto výkonem pracuje, je přímo implementováno v elektromobilech výrobcem. A po připojení napájecího kabelu k síti, se elektromobil začne

nabíjet. V případě požadavku rychlého nabíjení o výkonu 22 kW až 43 kW a více si uživatelé u výrobce mohou vybrat ze dvou řešení. První je, že elektromobil bude mít vestavěnou nabíječku navrženou pro nabíjení od 3 kW do 43 kW na jednofázové napětí 230 V nebo třífázově na 400 V. Druhý způsob je založen na využití externí nabíječky, která má zabudovaný usměrňovač, a tak převádí střídavou složku proudu na stejnosměrnou. Tím se docílí nabíjení o výkonu 50 kW. Doby nabíjení při určitých výkonech pro celkovou kapacitu baterie kolem 20 kW charakterizuje tabulka 6.[26]

| Doba nabíjení | Napájení | Napětí | Max. proud |
|---------------|----------------|-------------|------------|
| 6-8 hod | 1fáz - 3,3 kW | 230V AC | 16 A |
| 2-3 hod | 3fáz - 10 kW | 400V AC | 16 A |
| 3-4 hod | 1fáz - 7 kW | 230V AC | 32 A |
| 20-30 min | 3fáz - 43 kW | 400V AC | 63 A |
| 20-30 min | Trvale - 50 kW | 400-500V DC | 100-125 A |
| 1-2 hod | 3fáz - 24 kW | 400V AC | 32 A |

Tab. 6 Doby nabíjení elektromobilů s kapacitou baterie kolem 20 kW [26]


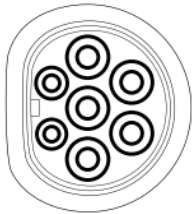
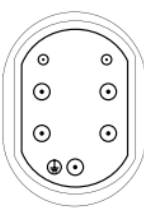
Na území Evropské unie platí norma IEC 61851-1, která normalizuje parametry nabíjecích systémů. Tabulka 7 z této normy přímo definuje metodu nabíjení, druh proudu, nabíjecí výkon, maximální nabíjecí proud, a zda se dá použít pro domácí anebo pro veřejné nabíjení.[29]

| Metoda nabíjení | Druh připojení | Nabíjecí výkon [kW] | Max. proud [A] | Použití |
|-----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|
| normální výkon | 1fáz, AC | 3,7 | 10-16 | domácí |
| střední výkon | 1fáz/3fáz, AC | 3,7-22 | 16-32 | domácí/veřejné |
| vysoký výkon | 3fáz, AC | >22 | >32 | veřejné |
| vysoký výkon | DC | >22 | >3,225 | veřejné |

Tab. 7 Rozdělení nabíjecích výkonů podle standardu IEC 61851-1 [29]

2.5 Zásuvky pro napájení elektromobilu

Evropskou unií se stanovila norma, která umožní eliminovat hlavní problematický stav. A to možnost v rámci Evropské unie nabíjení různých značek elektromobilů na jakékoli nabíjecí stanici. Řidiči by nemuseli hledat jiné místo pro nabití z důvodu nevhodného konektoru. Jde o dokument normy IEC 62196-2, ve kterém jsou pro území Evropy specifikovány tři typy konektorů. Zásuvky na obrázku 9 se postupně nazývají Yazaki, Mennekes a SCAME.[26]

| Parametry | Type 1 | Type 2 | Type 3 |
|----------------------|---|--|---|
| Fáze | 1-fáz. | 1-fáz. / 3-fáz. | 1-fáz. / 3-fáz. |
| Proud | 32 A | 70 A (1-fáz.) 63 A | 32 A |
| Napětí | 250 V | 500 V | 500 V |
| No. of prongs | 5 | 7 | 5 or 7 |
| Zaslepovací zařízení | Ne | Ne | Ano |
| Schéma |  |  |  |

Obr. 9 Základní typy konektorů [26]

Schneider Electric doporučuje zásuvku typu 3 s názvem SCAME. Prvním důvodem je, že pouze tento typ má posuvné ochranné krytky. Tyto krytky jsou povinné v některých Evropských zemích například ve Francii. Chrání před nedovoleným vložením jiných předmětů do zásuvek, než těch, pro které jsou určeny. Jejich druhým důvodem je, že zásuvka i vidlice jsou na straně elektrické instalace vybaveny záslepkami, které chrání před úrazem elektrickým proudem a navíc umožňuje příchod k Vehicles to Grid. Jde o pojem, kdy elektromobil by mohl být používán jako generátor. Podporoval by distribuční síť v období denních špiček nebo v případě nouzových situací, jako jsou například porušení vedení vlivem vnějších klimatických podmínek. Nebo energie akumulovaná v elektromobilu by mohla být využita pro napájení domovních instalací. Celkově se jedná o technologii, která vychází z toho, že palubní nabíječka má obousměrné rozhraní mezi elektrickou sítí a elektromobilem.[26]

Je-li elektromobil připojen přímo k distribuční síti pomocí zásuvky SCAME pomocí jednoúčelového obvodu, tak jsou v nabíjecím zařízení zabudovány veškeré ovládací a ochranné funkce. Režim nabíjení elektromobilu řídí kontrolní funkce, která komunikuje mezi elektromobilem a nabíjecí stanicí. Tím se dospěje k optimálnímu nabíjení baterií a zároveň se tak zachovává jejich životnost. Díky použití samostatného elektrického obvodu je dosaženo větší bezpečnosti, díky snížení riziku proti neúmyslným připojením. Zaručí se tak větší bezpečnost majetku i osob. Toto připojení splňuje platné standardy pro elektrické instalace a navíc umožňuje provozování elektrických spotřebičů v domácnosti, zatímco se elektromobil nabíjí.[26]

2.6 Indukční nabíjení

Jedná se v podstatě o bezdrátové nabíjení pomocí elektrické indukce, která využívá princip vysokofrekvenční elektromagnetické rezonance. Nabíječka je složena ze dvou modulů. Jeden z nich je umístěn na parkovacím místě a druhý je zabudován v podvozku elektromobilu. Proto, aby bylo možné elektromobil dobít, musí zastavit pod nabíjecí podložkou. Pomocí cívky, která je situována na straně distribuční sítě, generuje elektromagnetické pole v řádu desítek kHz a tím se indukuje proud v cívce na straně elektromobilu. Proces nabíjení se v případě plného nabití baterie automaticky odpojí.[24][30]

Tento systém má hlavní výhodu v tom, že nepotřebuje žádné napájecí kabely. Proto se uvažuje o nabíjení elektromobilu během jízdy. V některých státech se pozemní komunikace se zabudovanou nabíječkou na indukční bázi vyskytuje. Příkladem mohou být státy jako například Jižní Korea nebo Velká Británie. Naopak mezi nevýhody tohoto systému patří menší účinnost, která se pohybuje kolem 90 %. Důvodem jsou přenosové ztráty energie přes vzduchovou mezeru a také kvůli ztrátám energie v měničích, které proud usměrňují. Aby byly ztráty co nejmenší, musí být malá vzdálenost vzduchové mezery. Zároveň by se musel vytvořit standard, který by specifikoval a optimalizoval požadavky této technologie.[30]

2.6.1 Dynamické indukční nabíjení

Jestliže je vozidlo během nabíjení pomocí indukce v pohybu, jedná se o dynamické indukční nabíjení. Jde o nabíjecí systém, který by umožnil vozidlům bezpečně cestovat na větší vzdálenosti na pozemní komunikaci využívající pouze elektrickou energii. Prodloužila by se tím doba dojezdu, a to až natolik, že by vozidlo bylo schopné teoreticky neomezeného provozu, jestliže by se držel v „zeleném“ pruhu s indukčním nabíjením.[30]



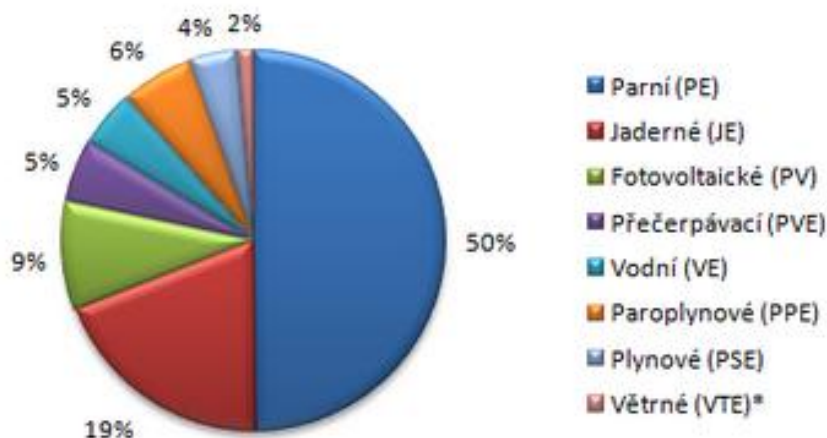
Obr. 10 Vizualizace dynamického indukčního nabíjení [31]

V roce 2013 testovala Jižní Korea svůj vlastní indukční dobíjecí systém OLEV pro městskou hromadnou dopravu ve městě Gumi. Tato technologie měla v pozemní komunikaci zabudovanou řadu dobíjecích cívek ve tvaru desek. Tyto desky mohly být navrženy po celé délce elektrobusevé linky, anebo jen ve vybraných lokalitách jako jsou třeba autobusové zastávky či depa. Hlavní výhodou tohoto systému je skutečnost, že elektrobuses tím pádem nemusí mít drahé a těžké baterie. Zkušební jízda byla provedena na 24 km úseku. Velikost vzduchové mezery byla 17 centimetrů a účinnost přenosu se pohyboval kolem 85 %. Podle Jihokorejských vývojářů má jejich systém OLEV maximální dobíjecí výkon 100 kW.[32]

Jedním z dalších představitelných řešení této problematiky může být "Elektrické nabíjení pozemních komunikací". Toho by chtěla dosáhnout Velká Británie, a proto provádí analýzy a testují dobíjecí pruh pro běžné pozemní komunikační sítě. Test bude probíhat na uzavřených úsecích, přičemž se snaží nalézt optimální řešení z pohledu povolené rychlosti na dálnici, napětí indukčního systému a kompatibilitou mezi elektromobily. Systém by navíc vyžadoval komunikační systém, aby cesty dokázaly zjistit, zda vozidlo přichází, a cívky mohly zahájit proces nabíjení. Vývoj těchto pozemních komunikací zahrnuje spolupráci Velké Británie a států Evropské unie.[31]

3 ELEKTROMOBILY A NABÍJECÍ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÍCÍ SOLÁRNÍ ENERGII

V otázce elektromobilů je důležité si uvědomit, odkud pochází zdroj energie, které je pohánějí. Na první pohled se může elektromobil jevit jako „zelená“ alternativa. Původ energie v jakékoliv nabíjecí stanici není možné určit, a tedy nevíme, zda se jedná o obnovitelný nebo neobnovitelný zdroj. Lze ale s vysokou pravděpodobností předpokládat, že půjde o neobnovitelný zdroj elektrické energie. Toto tvrzení může doložit energetický mix České republiky na obrázku 11, ze kterého je patrné, že většina energie v tuzemsku je vyrobena z uhelných a jaderných elektráren. V jiných státech může být situace naopak zcela jiná. Například v sousedním Německu se v poslední době usiluje o větší zařazení obnovitelných zdrojů. Na jednu stranu se zdá, že jde o rozumný krok k udržitelnému rozvoji energetiky. Nicméně na druhou stranu se zde vyskytují problémy, které vedou spíše k destabilizaci elektrické sítě.

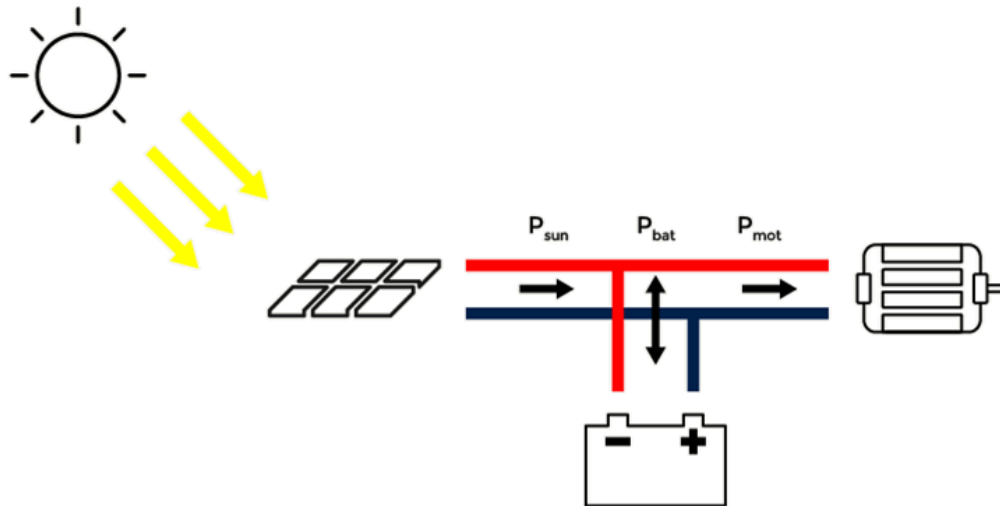


Obr. 11 Energetický mix České republiky v roce 2017 [33]

3.1 Elektromobily na solární energii

V rámci obnovitelných zdrojů elektrické energie se nabízí jako vhodná varianta pro účely nabíjení elektromobilu právě sluneční záření. Je všude dostupné, nevyčerpatelné a jedná se o největší zdroj energie. Využití solární energie je naprosto zdarma a do jisté míry není nutná takřka žádná nabíjecí infrastruktura. V teoretické rovině to znamená, že by bylo možné řídit elektrická vozidla kdekoli na světě. Odpadlo by čekání na strategické rozmístění a zdlouhavá stavební povolení k vybudování nabíjecích stanic. Z toho důvodu se o využití energie ze slunce upínají nově vzniklé automobilky. Reprezentanti těchto nových podniků jsou Lightyear z Nizozemska anebo Sono motors z Německa. Ještě předtím, než dojde na představení těchto nových společností, rozebereme blíže elektromobily využívající solární články z obecného hlediska.

Jádrem solárního vozu je elektrický vůz s neomezeným, bezplatným a bezdrátovým zdrojem energie. V podstatě se solární automobil skládá ze solárního panelu, baterie a jednoho nebo více elektrických motorů. Všechny tyto části jsou zapojeny paralelně, a to podle obrázku 12.[34]



Obr. 12 Jednoduché schéma solárního automobilu [34]

V určitém okamžiku určuje množství slunečního záření výkon solárních panelů P_{sun} . Dále se určí výkon baterie P_{bat} a výkon motoru P_{mot} . Funkční proces baterie je dán rozdílem mezi výkonem dodávaným ze slunce a výkonem motoru: $P_{\text{bat}} = P_{\text{sun}} - P_{\text{mot}}$. V situaci, ve které je dodávaný výkon ze solárních panelů větší, než je požadovaný výkon motoru, bude se baterie nabíjet přebytečným výkonem. Tudiž může být využita pro pozdější využití. To nastává například při zaparkovaném elektromobilu nebo při pomalé jízdě s podmínkou dostatečně dobrého počasí. Při jízdě ve vysoké rychlosti se využije pro provoz motoru veškerý dodávaný elektrický výkon P_{sun} a baterie slouží jako záložní zdroj.[34]

Výkon motoru P_{mot} je určen dvěma faktory a to aerodynamickým odporem $C_d A$ a valivým odporem vozidla C_{rr} . Aerodynamický odpor je určen plochou čelní části vozu A a koeficientem odporu C_d . Čelní plocha je oblast předního obrysu vozidla, proti které se částice vzduchu srazí. Koeficient odporu popisuje proudění vzduchu kolem vozidla. Při vyšších rychlostech bude aerodynamická ztráta výkonu motoru vyšší než při nízkých rychlostech, protože výkon potřebný k překonání aerodynamického odporu se zvyšuje kubicky s rychlostí. Tabulka 8 popisuje srovnání vozu Tesla Model S a Volkswagenu Golf z pohledu aerodynamického odporu. Z tabulky vyplývá, že díky menšímu aerodynamickému odporu $C_d A$ spotřebuje Tesla Model S až o 2700 W méně výkonu než Volkswagen Golf při rychlosti 120 km/h.[34]

| Typ | $A \text{ [m}^2\text{]}$ | $C_d \text{ [-]}$ | $C_d A \text{ [m}^2\text{]}$ | Aerodynamická ztráta při 20 km/h [W] | Aerodynamická ztráta při 120 km/h [W] |
|-----------------|--------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Tesla Model S | 2,34 | 0,24 | 0,56 | 64 | 13800 |
| Volkswagen Golf | 2,22 | 0,31 | 0,69 | 76 | 16500 |

Tab. 8 Srovnání aerodynamických odporů na Tesla Model S a

Volkswagen Golf [34]

Valivý odpor je určen koeficientem valivého odporu pneumatik C_{rr} a hmotností vozidla m . Typické hodnoty pro C_{rr} jsou kolem 0,01. Výkon, který je potřebný k překonání valivého odporu, se zvyšuje lineárně s rychlostí. Z předchozích tvrzení vyplývá, že při nízké rychlosti je valivý odpor důležitější, zatímco při vyšších rychlostech je důležitější velikost aerodynamického odporu.[34]

Aby se tedy docílilo optimálního návrhu solárního automobilu, je nutné splnit několik podmínek. Maximalizovat množství energie přicházející ze slunce pomocí mnoha účinných

solárních článků a minimalizovat ztrátový výkon motoru. Snížení velikosti ztrát motoru se docílí tak, že vozidlo bude mít co nejvíce aerodynamický tvar a bude vyrobeno z lehkých materiálů k dosažení nízké hmotnosti. Vhodným lehkým materiálem je například plast vyztužen uhlíkovými vlákny, který dosahuje stejné pevnosti jako hliník s 10 krát menší hmotností. Snížení aerodynamického tahu může být dosaženo snížením čelní plochy. Například tak, že se vozidlo sníží anebo tím, že zrcadla budou nahrazena kamerami. Zlepšení součinitele odporu může být dosaženo vytvořením hladkého tvaru a odstraněním okrajů a švů. Například přidáním uzavřené spodní desky k vozidlu. Obecně lze říci, že při zlepšení aerodynamiky stačí pro dosažení stejného výkonu méně výkonné motory a menší baterie.[34]

3.1.1 Lightyear

Firma byla založena v roce 2016 pěti absolventy z týmu Solar Einhoven, který se zúčastnil světové výzvy Solar Challenge. Ihned po vzniku organizovali zakládající členové sérii přednášek, ve kterých představovali své plány. Získali tím investory, kteří pomohli zafinancovat vývoj jejich vozu. V následujícím roce odhaluje Lightyear své plány ohledně svého vozu na sluneční energii veřejnosti a okamžitě si získal pozornost celého světa. Následně na to začal s prodejem rezervací svého vozu, jenž nese název Lightyear One. V následujícím období získalo Lightyear řadu ocenění například postup do finále v Postcode Lottery Green Challenge anebo prestižní cenu Climate Change Innovators Award 2018 na konferenci technologických inovací Consumer Electronics Show v Las Vegas za obrovský potenciál přispívající ke snížení emisí oxidu uhličitého. V září 2018 se uskutečnilo privátní představení nejen prvního modelu Lightyear One, ale i technologické řešení solárních střech a prototypu podvozku.[35][36]

Touto snahou o vývoj nového vozu firma chce urychlit zavedení elektromobilů pro širokou veřejnost po celém světě. Autoři tohoto projektu se navíc domnívají, že pokrytí nabíjecích stanic i přes neustálý růst není dostatečně rychlý k tomu, aby se elektromobily staly běžnou součástí domácností. Zatímco tento model by mohl přispět k rozšíření elektromobilů mezi veřejnost, protože je schopný odstranit základní problém. Jednak nebude vyžadovat vybudování robustné nabíjecí infrastruktury a navíc eliminuje krátké dojezdové vzdálenosti vzhledem k čerpání sluneční energie během cestování. Společnost Lightyear zastává tvrzení, že pro zmírnění klimatických změn jako třeba smogové situace ve městech, jsou klíčové právě elektromobily. Stavební kameny vize společnosti Lightyear ohledně cestování v budoucnosti, se zabývá v poskytování čisté a cenově dostupné mobility všem. Nakonec by stejně každý měl cestovat pomocí obnovitelných zdrojů energie.[36][37]

U elektromobilů nabíjenými přes solární články není největším problémem cena nebo dostupnost solárních článků, akumulátorů nebo konstrukční řešení elektromotorů. Lightyear uvádí, že jádro problému tkví v tom, aby všechny komponenty dobře spolupracovaly. Dále usiluje o to, aby jeho model byl bezpečný a proto spolupracuje s mnoha průmyslovými partnery, pro zajištění všech bezpečnostních předpisů.[37][38]

Lightyear One bude vyroben z ultralehkých materiálů. Tento uhlíkový materiál má za cíl snížit negativní dopad na životní prostředí. Konstrukce modelu One je uzpůsobena tak, aby při jízdě vykazovala co nejmenší odpor proudění vzduchu. Jeho povrch má být pokrytý solárními panely a díky tomu bude tento elektromobil schopen ujet od 400 do 800 kilometrů na jedno nabití. V případě nedostatku sluneční energie, je možné elektromobil nabíjet z běžné domovní zásuvky nebo z jakékoli nabíjecí stanice. Při předpokladu, že se bude vůz pohybovat na místech světa, kde je dostatek slunečních dní v roce. Odpadne potřeba nabíjet elektromobil ze sítě. Bude-

li třeba, je Lightyear One navržen tak, aby mohl zásobovat přebytečnou elektrickou energií váš dům. Navíc je vybaven běžnou zásuvkou pro napájení běžných domácích spotřebičů, ať už budete kdekoli na cestách. Model One je uzpůsoben na přepravu pěti osob. Jeho zavazadlový prostor bude mít kapacitu 700-800 litrů. Údržba vozidla bude vzhledem k menšímu počtu komponentů jednodušší a v případě potřeby nabízí firma rychlé a osobní poradenství.[36][38]

Přestože je tento model stále ve vývoji a jedná se pouze o koncept, má Lightyear ambice uvést do roku 2019 na trh 10 modelů a v dalším roce vyprodukovat dalších 100 modelů Lightyear One. Elektromobily budou dostupné v rámci Evropy a zákazníci si mohou na webových stránkách společnosti zřídit rezervaci. Cena tohoto vysoce ekologického modelu elektromobilu se odhaduje výrobcem v přepočtu na 3 miliony korun.[36]

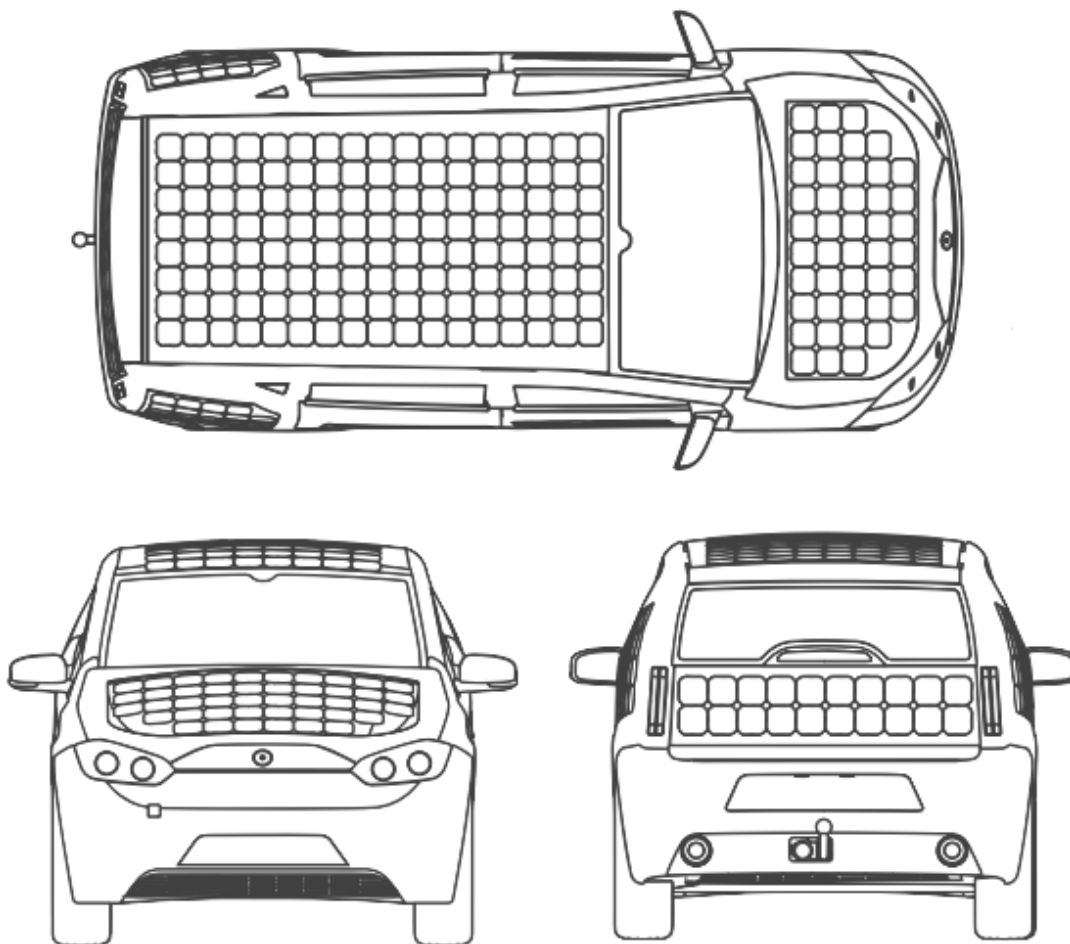
3.1.2 Sono motors

Sono motors je nová, rozvíjející se firma sídlící v Německém Mnichově. Společnost chce významně přispět ke snížení emisí oxidu uhličitého. Na svých stránkách tvrdí, že roční produkce konvenčních vozidel po celém světě musí být významně snížena za účelem ochrany zdrojů a životního prostředí. Firma tedy byla založena za účelem vytvoření soběstačného vozidla. Jejich první vozidlo se zahrnutým konceptem inteligentní mobility s názvem Sion je vhodný pro každodenní použití.[39]

V polovině roku 2017 se firma rozhodla vykompenzovat veškeré vypouštěné emise během výrobního procesu budoucího elektromobilu Sionu. Až do současnosti probíhá identifikace a zaznamenávání emisí. Jakmile se dokončí identifikace těchto emisí, přejde se přímo do konečného výběru projektů na ochranu proti klimatickým změnám ve spolupráci se specializovaným partnerem této oblasti. Jejich snahou tedy bude vybrat projekty, které vyhovují nejvyšším standardům kvality a budou vytvářet co nejvyšší přínos pro tamní obyvatelstvo. Tyto náklady na kompenzaci zejména oxidu uhličitého budou již zahrnuty do kupní ceny Sionu.[40]

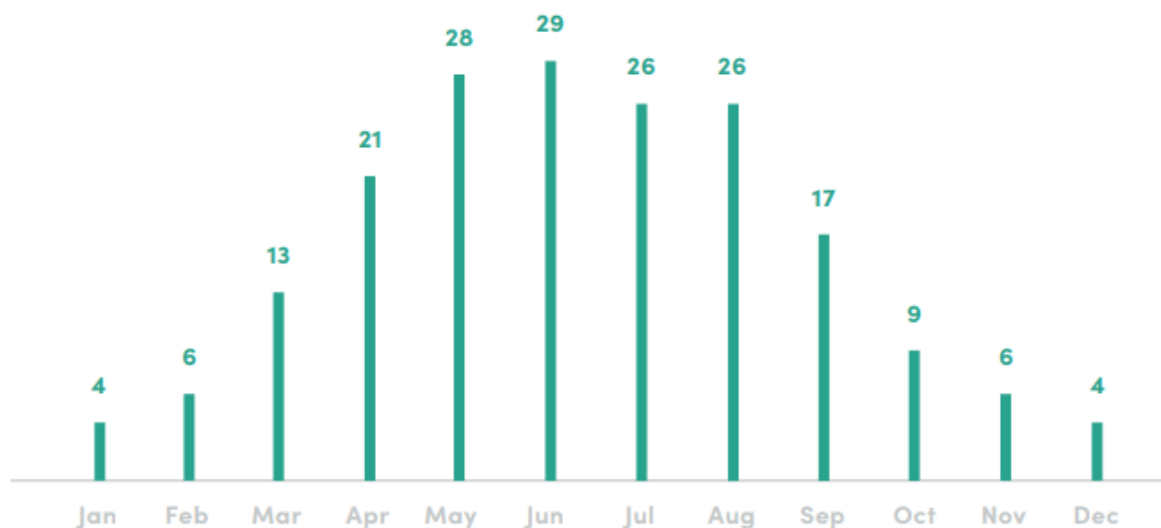
Sion se stane jedním z prvních hromadně vyráběných elektrických vozidel, které může nabíjet baterii pomocí solární energie. Jedná se o rodinný vůz s pěti dveřmi a pěti (2+3) sedadly. Je navržen především pro každodenní městské cestování. Sono motors kladl důraz na to, aby jejich vůz měl velkou životnost, výkonnost a byl vyroben z lehkých komponentů. V útrokách Sionu je navržen motor o výkonu 120 kW, který zvládne stanovenou délku dojezdové vzdálenosti 255 km. S odhadovaným tažným výkonem přibližně 750 kg je vhodný pro odtahování menších přívěsů a umožňuje maximální rychlost 140 km/h. Váha vozidla bude pravěpodobně v rozmezí 1,4 až 1,6 tuny včetně baterie.[40][41]

Solární články budou umístěny po stranách, na střeše, v zadní části a na kapotě vozidla. Rozmístění fotovoltaických modulů popisuje obrázek 13. Integrované fotovoltaické články umožňují jednoduše nabíjet baterii po celý den pomocí slunečního záření. Pro představu je na obrázku 14 znázorněn graf roční výtěžnosti fotovoltaického systému v oblasti Mnichova. Z grafu vyplývá, že nejvyšší výtěžnost elektrické energie se předpokládá dle predikce průměrných meteorologických údajů v létě a lze dodatečně zvýšit dojezd v jednom dni o 30 km pomocí fotovoltaických modulů.[39][41]



Obr. 13 Rozmístnění fotovoltaických článků na elektromobilu Sion [39]

Lithium-iontová baterie s kapacitou 35 kWh, obsahuje vodní chlazení. Pro solární moduly jsou použity monokrystalické křemíkové články. Celkově je použito 330 článků. Dohromady dokáží generovat maximální výkon 1 204 W s 24 % účinností. Fotovoltaické moduly jsou připojeny ke spodní konstrukci, podobně jako normální čelní sklo. To znamená, že fotovoltaické moduly lze snadno a bez problémů vyměňovat.[39][41]



Obr. 14 Dodatečný dojezd v kilometrech za den [39]

Autoři projektu kladou důraz na kvalitu materiálu. Komponenty musí splňovat následující požadavky: minimální životnost 8 let, odolnost vůči vlivům prostředí, jako je ultrafialové záření a voda, robustnost a nízká hmotnost. Obvyklé fotovoltaické články jsou laminovány ve skle 2 až 5 mm silné. To je však v dané situaci nevyhovující, protože sklo je poměrně těžké a není příliš odolné vůči rozbití. Řešením je polykarbonát, který je lehký, výrazně odolnější a má lepší průhledný koeficient než sklo.[40]

Pro procesy nabíjení je Sion vybaven zástrčkami CCS, Mennekes a běžnou zástrčkou pro domácnost. Zástrčku pro CSS lze nalézt v rychlonabíjecích stanicích a zástrčku Mennekes lze využít u všech běžných nabíjecích stanic. Sion bude dodáván s nabíjecím kabelem pro Mennekes za příplatek a nabíjecími kabely CSS, které jsou obecně integrovány do rychlých nabíjecích stanic. Díky vybavenosti těmito konektory, bude zaručena možnost nabíjení téměř ve všech nabíjecích stanicích v Evropě.[39][40]



Obr. 15 Typy podporovaných zástrček pro elektromobil Sion [39]

Díky obousměrné nabíjecí technologii bude moci Sion čerpat a ukládat energii, a navíc ji využít nejen pro potřeby cestování, ale i pro napájení elektrických spotřebičů a zařízení až do 3,7 kW. Pro napájení spotřebičů vyšších výkonů bude možné použít zástrčku Mennekes, která umožní napájení elektrických spotřebičů až do výkonu 11 kW. V kombinaci se zabudovaným fotovoltaickým systémem lze Sion připodobnit k mobilní elektrárně.[39][41]

Do Standardního vybavení vozidla bude spadat klimatizace, která nejen ochladí, ale i odstraní vlhkost ze vzduchu, pomůže odkrýt čelní sklo v chladném a vlhkém počasí a tím zlepšit viditelnost během jízdy. Do palubní desky bude integrován speciální mech, který poslouží jako přírodní systém vzduchového filtru. Ten využívá elektrostatickou gravitaci pro filtraci až 20 % prachových částic ze vzduchu a současně poskytuje pozitivní účinky na teplotu a vlhkost uvnitř Sionu. Je soběstačný a není nutné o něj pečovat. V kabině na palubní desce bude nad mechem umístěn deseti palcový displej. Ten řidiči a cestujícím poskytne informace o aktuálním stavu vozidla.[39][41]

Navržen byl takový systém údržby, aby náklady byly co nejmenší. Rovněž je zamýšleno zřídit online obchod pro zakoupení téměř všech součástí a komponentů pro vůz Sion. Většinu součástí náhradních dílů bude schopný majitel vozu instalovat, ale samozřejmě se vyskytuje možnost využití autorizovaného servisu. Vzhledem k tomu, že příručka pro dílny je volně přístupná, umožňuje vytvoření sítě servisů, která nabízí opravy a servis za přijatelné ceny.[39][41]

Pořizovací cena vozu Sion bude v přepočtu kolem 400 000 korun bez baterie. Důvodem pro vyloučení baterie z ceny je to, že firma chce vždy nabídnout nejaktuálnější cenu. Konečnou cenu

baterie bude vypočítána na základě tržních sazeb bateriových článků v době produkce vozidla a až poté bude přiřazena k ceně Sionu.[40]

3.2 World solar challenge

Schopnost vývoje technologií v každém odvětví tkví v konkurenci schopnosti. Zavedením různých soutěží k tomu nemálo prospívá. V této podkapitole budou představeny soutěže solárních elektromobilů. Nejznámější z nich má název World Solar Challenge.

Všechno to začalo v roce 1982 kdy Hans Tholstrup a Larry Perkins, si dali za úkol vyrobit domácí solární elektromobil, se kterým by přejeli od západu k východu území Austrálie. K dosažení tohoto úspěchu vyzývali i ostatní lidi a tak se zrodila v roce 1987 soutěž World Solar Challenge, která podporuje rozvoj alternativních dopravních prostředků vůči konvenčním motorovým vozidlům. Tento závod se pořádá každé dva roky a svou aktivitou pomáhá posouvat limity technologických inovací elektromobilů, poháněných pouze sluneční energií. Na obrázku 16 je vyznačena trasa Australského závodu. Z Darwinu se závodníci vydávají na trasu dlouhou 3000 km do města Adelaide. Týmy jsou tvořeny převážně studenty z více než 30 zemí světa.[42][43]



Obr. 16 Trasa závodu World Solar Challenge [44]

Solární elektromobily testují hranice energetické účinnosti a také poskytují neuvěřitelný náhled do konstrukčních řešení vozidel pro každodenní využití. Tyto inovace jsou jádrem všech elektromobilů, ať už energie pro pohon pochází z vodíkových palivových článků, hybridních motorů nebo z plně elektrických osobních vozů. S využitím maximálně šesti metrů čtverečních solárních panelů jsou některé týmy na cestě k vývoji nejefektivnějších elektrických vozidel. Celý závod je v podstatě o rozumném hospodaření s energií.[42][43]

Důležitými pravidly závodu jsou:

- Čas je počítán z místa startu po okraj města Adelaide. Aby byl jeho čas zaznamenán, musí závodník projet oficiální cílovou čarou, která je situována ve středu města.
- Vzhledem k tomu, že závod probíhá přes veřejné komunikace, musí všichni dodržovat běžné dopravní předpisy. V oficiálních předpisech je však uvedena speciální poznámka. Ta říká, že po poledni by bylo výhodné řídit po pravé straně silnice, za účelem získání více energie ze slunce. Lze tak učinit pouze v případě nulového provozu.

- c) Registrováni musí být minimálně 2 a maximálně 4 řidiči. Je-li hmotnost řidiče včetně oblečení menší než 80 kg, přidává se zátěž, která doplní rozdíl.
- d) Doba jízdy je od 8:00 do 17:00. Aby bylo možné zvolit vhodné místo pro noční zastávku na dálnici, je možné prodloužit jízdní dobu nejvýše o 10 minut, což bude další den jízdy kompenzováno počátečním časovým zpožděním.
- e) Na různých místech po trase je 7 povinných kontrolních bodů, kde každé auto musí zastavit na dobu 30 minut. Během těchto povinných zastávek jsou povoleny pouze nejzákladnější úkony údržby - kontrola a údržba tlaku v pneumatikách a čištění vozidla
- f) Je povolena baterie o maximální velikosti 5 kWh. Na začátku závodu mohou být baterie plně nabité. Baterie nesmějí být během soutěže nahrazeny. Výměna baterie je povolena pouze v případě poruchy, načež tým bude pokutován časovou penalizací.
- g) Kromě maximálních vnějších rozměrů nejsou žádné další omezení návrhu a konstrukce automobilu.
- h) Zpomalení systému dvojího brzdění musí být nejméně 3,8 m/s².
- i) Všechny týmy musí být plně soběstačné.[45][43]

Soutěžící týmy se mohou zúčastnit až třech různých kategorií závodu:

3.2.1 Třída Challenger

Tato třída je určena pro solární elektromobily, které jsou navrženy a konstruovány tak, aby byly rychlé, vytrvalé a celkově energeticky účinné. Jedná se o jednosedadlové aerodynamické vozy. Konstrukční omezení vozidel v této třídě pro rok 2019 jsou následující:[46]

Maximální délka: 5 m

Maximální šířka: 2,2 m

Maximální solární plocha: 4 m²

Kola: 4

Řidič: 1

3.2.2 Třída Cruiser

Pro podporu rozvoje udržitelné dopravy založili třídu Cruiser. Je určena hlavně pro efektivní a praktické solární elektromobily se dvěma nebo více sedadly. Týmy soutěžící v této třídě se snaží změnit způsob, co řídíme a jaké palivo využíváme. Čelí tedy skutečnému problému – navrhnout elektromobil, který bude účinný a praktický. Konstrukční omezení pro rok 2019 jsou:[47]

Kola: 4

Řidič /spolujezdec: 1/ 1+ (všichni směřující dopředu)

3.2.3 Třída Adventure

Třída Adventure je nekonkurenční a umožňuje dříve postaveným vozům v předchozích letech se znovu účastnit závodu. Mohou to uplatnit například týmy, které ač v minulém závodě splňovaly náročné bezpečnostní standardy, zcela nemusí splňovat nejnovější požadavky. Důvodem zavedení této kategorie je rozvoj spolupráce na globální scéně za účelem příležitosti osobního rozvoje.[48]

3.2.4 Solární elektromobily kategorie Challenger a Cruiser

Vítěz posledního závodu World Solar Challenge v roce 2017 se stal ve třídě Challenger tým Nuon Solar z Nizozemska. Jejich solární elektromobil Nuna9 je deváté postavené vozidlo tímto týmem. Nuna9 je vyrobena z inovativních syntetických materiálů pryskyřice a uhlíkových vláken, díky čemuž je elektromobil rychlejší, bezpečnější a energeticky účinnější. Hmotnost solárního elektromobilu je 135 kg a jen samotná baterie použitá ve vozidle váží 20 kg. Hmotnost baterie v osobním elektromobilu váží pro představu 540 kg. Uložená energie v baterii se využívá pro pohon motoru pouze tehdy, když solární panel nemůže generovat energii. To znamená, že i při zhoršeném počasí je možno s Nuna9 po určitou dobu nadále jet. Solární panel o rozměru $2,64\text{m}^2$ je vyrobený přímo týmem Nuon Solar. Použité fotovoltaické články ve vozidle Nuna9 jsou stejného typu jako v satelitních družicích. Tento solární elektromobil dosahuje také extrémně malé hodnoty vzduchového odporu. Tato hodnota odpovídá vzduchovému odporu pouze jednoho postranního zrcátka Tesla Model S. Na obrázku 17 je vozidlo Nuna9, která dosahovala v závodech průměrné rychlosti 81,2 km/h.[49][50]



Obr. 17 Solární elektromobil Nuna9 od Nuon Solar Team[51]

Vítěz třídy Cruiser v roce 2017 se stal Solar Team Eindhoven taktéž z Nizozemska. Jejich solární elektromobil nese název Stella Vie. Tento tým uvádí, že se jedná o nejefektivnější rodinný elektromobil na světě, který ujede až 1000 km pomocí sluneční energie vyrobené v průměrném letním dni v Holandsku. Nadbytečnou vyrobenou energií, může Stella Vie například zásobovat dům.[52]

Při návrhu karoserie se snažili dosáhnout co nejnižšího aerodynamického odporu. Toto futuristické vozidlo má plochu solárního pole 5 m^2 a nabízí až 5 míst k sezení. Je 5 m dlouhý, 1,65 m široký a současně váží pouze 375 kg. Nejvyšší dosažená rychlost je 125 km/h. Stella Vie má zabudovanou solární navigaci, která díky vyhodnocování předpovědi počasí určí nejefektivnější trasu cesty do zvoleného cíle. Během cesty palubní počítač přepočítává úsporu oproti běžnému automobilu. Navigace současně vyhledá i nejvýhodnější místo pro zaparkování na slunném místě, aby bylo vozidlo nabitě i pro nadcházející jízdu. Vybrané parkovací místo je v přiměřeném dosahu místa určení, zohledňuje pravděpodobnost zaplnění a vede vás k bezplatnému parkovacímu místu. Zahrnuje nejnovější technologii V2X, která během jízdy varuje řidiče, pokud zbytečně brzdí nebo dochází k rychlé akceleraci vozidla. Také upozorňuje řidiče, aby předvídal nadcházející dopravní situace, což umožňuje bezpečnější jízdu.[52][53]



Obr. 18 Solární elektromobil Stella Vie[52]

Tým z Tokajské university přišel do závodu ukázat svého Tokai Challengea. Na rozdíl od ostatních má jiný tvar, což ho činí v soutěži unikátem. Stejně jako ostatní týmy se i oni soustředily při návrhu konstrukce na maximální aerodynamiku pro dosažení nízkého odporu vzduchu. Aby měl malou hmotnost a současně velkou pevnost, využily pro jeho stavbu uhlíkové vlákno s názvem Torayca, které tyto vlastnosti splňuje. Celková odhadovaná hmotnost je přibližně 140 kg a o celkové délce 4980 mm, šířce 1200 mm a výšce 1000 mm. Použité solární články jsou od společnosti Panasonic s účinností 24,1 % a celkovým výkonem 962 W. Toto vozidlo je dále vybaveno vysokokapacitní cylindrickou lithium-iontovou baterií od společnosti Panasonic o hmotnosti 20 kg. Pro pohon jejich vozidla Tokai Challenger použili bezkartáčový motor od společnosti Mitsuba s přímým pohonem na stejnosměrný proud. Je-li během jízdy energie dodávána pouze ze solárních článků, lze vozidlem jet přibližně 90 km/h. Jeho maximální rychlost současně s uspořenou energií v baterii je 120 km/h.[54][55][56]



Obr. 19 Solární elektromobil Tokai Challenger[56]

3.3 Solární nabíjecí stanice

Nyní přejdeme k solárním nabíjecím stanicím. Bude zde vysvětlen princip získávání elektrické energie z fotovoltaických článků, charakteristika FV článků, problematika fotovoltaického systému a jeho využití pro energetické účely.

3.3.1 Fotovoltaický článek

Přeměna sluneční energie na elektrickou je založena na principu fotovoltaického jevu, který probíhá ve fotovoltaických článcích. FV článek má napětí kolem 0,5 V a proudovou hustotu 30 mA/cm². „Fotovoltaický článek je v podstatě polovodičová dioda. Jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P. Na ní se při výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N, obě vrstvy jsou odděleny tzv. přechodem P-N. Osvětlením článku vznikne v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a v polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků velikosti zhruba 0,5 V. Energie dopadajícího světla se v článku mění na elektrickou energii. Připojíme-li k článku pomocí vodičů spotřebič, začnou se kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud. Je-li třeba větší napětí nebo proud, zapojují se jednotlivé články sériově a sestavují se z nich fotovoltaické panely“.[57] Tyto FV panely musí být odolné proti vnějším klimatickým podmínkám, jako je například krupobití, silný vítr, teplotním změnám od 40°C do 85°C, ale také technickým vlivům jako je například přepětí. Fotovoltaický systém je sestaven z panelů tak, aby poskytoval dostatečný elektrický výkon pro požadovanou aplikaci.[58]

3.3.2 Typy fotovoltaických článků

Podle výroby dělíme články na krystalické nebo tenkovrstvé. Mezi krystalické patří články, které jsou vytvořeny na deskách polovodičového materiálu. Jsou vyrobeny z křemíku v podobě monokrystalu nebo polykrystalu. [59]

Monokrystalické články jsou vyrobeny z jednoho kusu krystalu křemíku a jejich výroba je založena na pomalém tažení roztaveného křemíku. Jejich účinnost za normálních podmínek je 12-16 % a tím, že se jedná o monokrystal, dochází k přeměně kolem 80 % přímého záření a 20 % difúzního záření na elektrickou energii.[58][59]

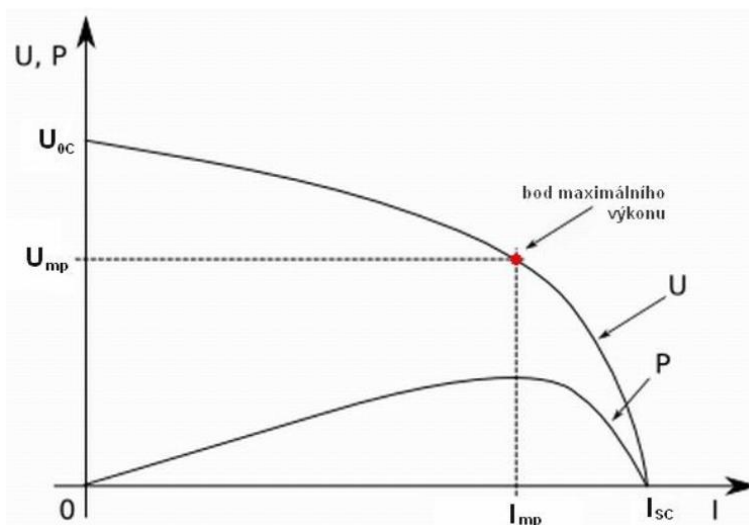
Polykrystalické články jsou složeny z většího množství menších krystalů. Jsou vyráběny odlíváním čistého křemíku do forem, v nichž vznikne ingot, který se následně nařeže na tenké plátky. Typická účinnost těchto článků za normálních podmínek je 11-14 %. Mají menší účinnost z důvodu většího odporu na spojích krystalických zrn a na elektrickou energii přemění kolem 20% přímého záření a 80 % difúzního záření.[58][59]

Tenkovrstvé články oproti krystalickým vznikají nanášením tenkých vrstev polovodičů na nosný materiál. Podkladovým materiálem může být například sklo, plastová fólie nebo kov. Výhodou těchto článků je vysoká úspora materiálů. Zástupcem tenkovrstvých článků a zároveň jeden z nejpoužívanějších je článek amorfní. Tento článek má účinnost za běžných podmínek 5-7 % a na elektrickou energii přemění kolem 50 % přímého a 50 % difúzního slunečního záření.[58]

3.3.3 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku

Voltampérová charakteristika vyjadřuje chování FV článku a zároveň je to nástroj pro nalezení bodu maximálního výkonu. Na obrázku 20 jsou vidět hraniční hodnoty napětí naprázdno U_{0C} a proud nakrátko I_{SC} . Napětí naprázdno představuje maximální napětí, kdy k FV článku není

připojena žádná zátěž a proud nakrátko představuje maximální (zkratový) proud, který lze dodat článkem při dané intenzitě záření.[58]



Obr. 20 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku [58]

Součinem hodnot maximálního pracovního proudu I_{MP} a maximálního pracovního napětí U_{MP} dostaneme na charakteristice bod nazývaný MPP (Maximum Power Point). Fotovoltaické články závisí z hlediska výkonu na intenzitě slunečního záření, spektru světla a na teplotě článku.[58]

$$P = U_{mp} * I_{mp} \quad (W, V, A) \quad (3.1)$$

Činitel plnění FF (Fill Factor) je charakteristickou provozní veličinou, jejíž hodnota říká na kolik procent je daný fotovoltaický článek využitý. Například pro fotovoltaický článek, na jehož povrch nedopadá žádné osvětlení, a tudíž nevyrábí energii, bude činitel plnění roven nule. Je dán podílem maximálního výkonu MPP a součinem hodnot maximálního napětí (naprázdno) a maximálního proudu (nakrátko).[58]

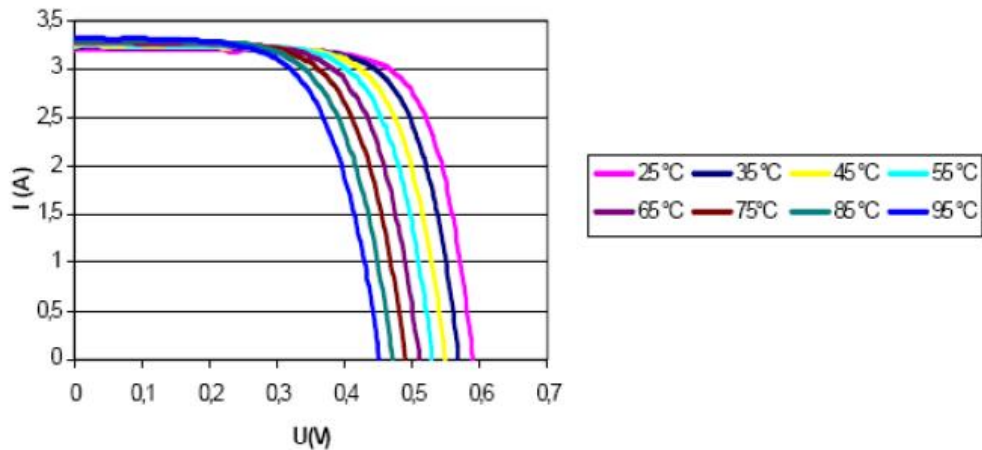
$$FF = \frac{U_{mp} * I_{mp}}{U_{0c} * I_{sc}} \quad (-, V, A, V, A) \quad (3.2)$$

Účinnost článku je vyjádřena podílem výkonu odebíraným, jehož hodnota charakterizuje na voltampérové charakteristice bod maximálního výkonu a výkonem dodávaným P_{in} , který charakterizuje sluneční záření dopadající na plochu článku.[58]

$$\eta = \frac{U_{mp} * I_{mp}}{P_{in}} \quad (-, V, A, W) \quad (3.3)$$

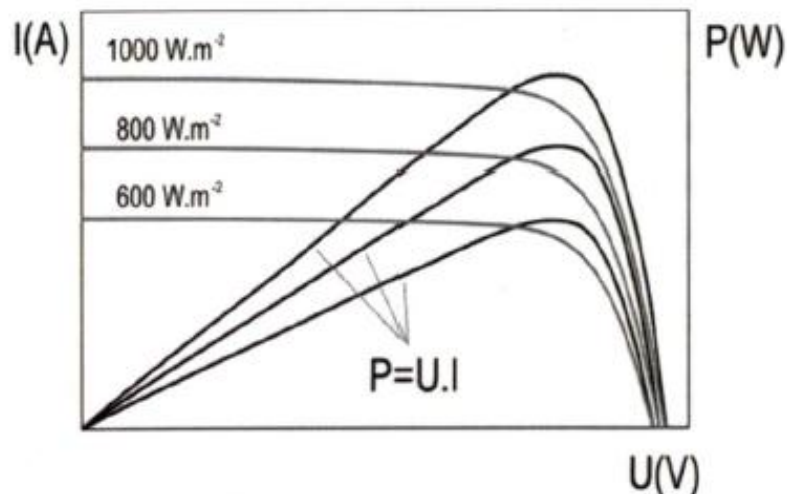
„Tyto výše uvedené charakteristické ukazatele jsou vždy určovány za standardních testovacích podmínek, tj. při standardní testovací teplotě $STC = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, intenzitě slunečního záření 1000 W/m^2 a definované vzduchové hmotě (Air Mass) $AM = 1,5$. Na průběh voltampérové charakteristiky má vliv především hodnota intenzity slunečního záření a teplota.“[58]

„Vlivem zvýšené teploty je významný pokles napětí naprázdno U_{0c} . Při déle trvající sluneční intenzitě, nebo zhoršených podmínkách chlazení článku (bezvětrí), kdy teplota vzduchu dosahuje $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, dochází ke zvýšení povrchové teploty až na $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při takto vysokých teplotách dochází ke změně elektrických vlastností článku, které vedou ke snížení zatěžovací charakteristiky směrem k nižšímu napětí. Pokles optimálního napětí způsobí snížení dodávaného výkonu.“[58]



Obr. 21 Vliv teploty na napětí naprázdno fotovoltaického článku [58]

„Účinnost fotovoltaických článků dále závisí na intenzitě dopadajícího záření a na velikosti sériového a paralelního odporu. V případě malého sériového odporu R_s účinnost článků s rostoucí intenzitou záření roste, dosahuje maxima a až při velkých intenzitách záření začíná klesat. V případě velkého sériového odporu účinnost článků s rostoucí intenzitou záření klesá (tento efekt se projevuje zejména u tenkovrstvých FV článků).“ [58]



Obr. 22 Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [21]

3.3.4 Střídač

Fotovoltaické panely vyrábí stejnosměrný proud pomocí fotovoltaického jevu. Aby mohly FV panely napájet distribuční soustavu, musí procházet vyrobený proud zařízením, který tento proud konvertuje na střídavý proud. K tomu slouží právě střídač, který zároveň dokáže poskytovat informace o stavu vlastní výroby energie. Během přeměny elektrické energie musí střídač dodávat co největší výkon s minimálními ztrátami. [58]

Vliv na jejich životnost má mimo jiné konstrukční řešení. Například horší životnost bude mít ten měnič, který bude chlazen přirozenou cirkulací vzduchu, než ten který bude ochlazován ventilátorem. [58]

Zahrnují jeden nebo více MPPT (Maximal Power Point Tracker). Jedná se o zařízení, které aktivně hledá bod maximálního výkonu MPP vlivem změny vstupního odporu střídače. Tím se dosáhne nejlepšího výkonu FV panelů při určitém slunečním záření a platí, že čím lepší a

propracovanější je vnitřní algoritmus MPPT, tím bude efektivnější výroba z FVE. Pro nízkonapěťové systémy jsou vhodné beztransformátorové střídače, které dosahují lepší účinnosti. Naopak horší účinnost mají střídače s transformátorem, ale mají kvalitnější výstup přeměněné elektrické energie. Další výhodou může být galvanické oddělení, které zvyšuje bezpečnost instalovaného systému a umožňuje aplikovat tenkovrstvé technologie. Účinnost střídačů se pohybuje kolem 90-98 %.[58][60]

Přifázování měniče k distribuční síti je plně automatizováno a jsou vyráběny jako měniče ostrovní nebo síťové. Ostrovní měniče generují vlastní frekvenci, která je rovna frekvenci běžné distribuční sítě 50 Hz, a tím lze připojit k této síti běžné elektrické spotřebiče na střídavý proud. Kdežto síťové měniče ztotožní svoji frekvenci a velikost napětí s parametry vnější distribuční sítě.[58]

U malých fotovoltaických elektráren FVE zajišťuje střídač funkci ochranou. Tím, že střídač monitoruje vyrobenou elektrickou energii. Tak v případě nedodržení kvality vyrobené energie z hlediska velikosti napětí a frekvence, odpojí střídač FVE od vnější sítě. Požadovaná kvalita elektrické energie by neměla překročit hodnoty uvedené rovnicemi (3.4) a (3.5).[58][60]

Dovolené meze fázového napětí

$$196 \text{ V} \leq U_f \leq 253 \text{ V} \quad (3.4)$$

Dovolené meze frekvence

$$49,8 \text{ Hz} \leq f \leq 50,2 \text{ Hz} \quad (3.5)$$

Z hlediska zapojení se střídače dělí na:

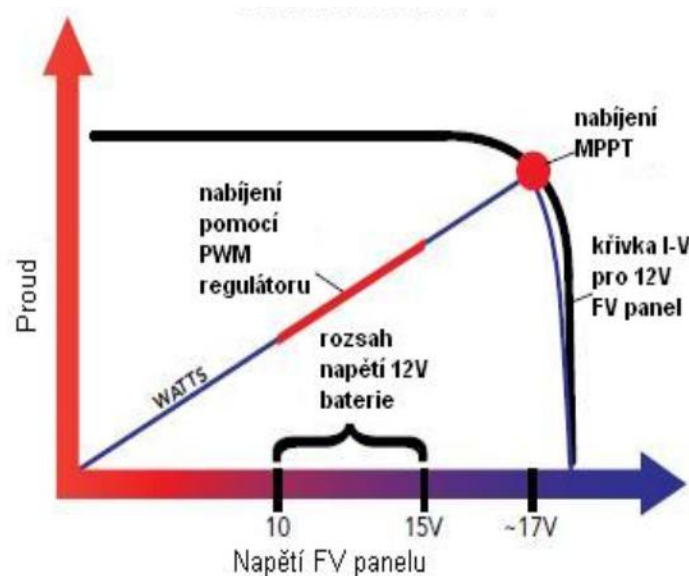
- a) Modulové - Střídač je připojen samostatně k jednotlivým FV panelům, a tudíž má každý panel svůj optimální MPPT. Velké množství střídačů podstatně zvýší náklady. Jedná se zejména o laboratorní nebo demonstrační systémy. Výkon střídače je kolem 50 W až 180 W.
- b) Řetězcové - Střídač je připojen k několika FV panelům, které jsou spojeny sériově nebo případně paralelně. Výkon střídače je od 1 kW do 12 kW.
- c) Centrální - Jedná se o připojení střídače k velkému množství FV panelů. Výkon střídače je od 20 kW do 1000 kW a toto zapojení odpovídá velké FVE. Tato varianta střídače má nižší spolehlivost, protože tečou rozdílné proudy v jednotlivých větvích, výstupní napětí se přizpůsobí nejhorší větví a je hůře regulovatelný bod maximálního výkonu.[58]

3.3.5 Regulátor

Regulátory jsou zapojeny hned za FV panely a slouží pro optimalizaci výstupních napětí ze skupiny FV panelů, pro nabíjení akumulátorové baterie a zároveň baterie chrání proti přepětí. Můžeme vybírat mezi PWM a MPPT regulátorem.[61]

PWM (Pulse Width Modulation) regulátor sníží napětí z FV panelů na takovou hodnotu, která je optimální pro nabíjení určitého akumulátoru. V okamžiku kdy jsou akumulátory nabitě, přeruší regulátor nabíjení a nesnižuje jejich životnost tím, že je nepřebíjí. V další fázi akumulátory kontroluje a udržuje jejich optimální nabitý stav. Jestliže dojde k poklesu napětí na FV panelech na hodnotu, která není přijatelná pro nabíjení akumulátorů, tak se proces nabíjení akumulátorů přeruší.[61]

MPPT regulátor má v sobě implementovaný vysokofrekvenční DC/DC měnič. Princip uplatnění vysokofrekvenčního měniče spočívá v tom, že vstupní stejnosměrné napětí změní na střídavé vysokofrekvenční napětí. Střídavé napětí se opět změní na napětí stejnosměrné o jiné výstupní velikosti napětí, než vstupní. Zjednodušeně řečeno. Mění výstupní hodnoty napětí FV panelů na takovou hodnotu napětí, která je optimální pro nabíjení akumulátorů. Lze říci, že se jedná o „transformátor“ stejnosměrného elektrického napětí a proudu. Jestliže MPPT regulátor zmenší výstupní napětí, tak automaticky zvýší výstupní proud. Díky tomuto faktu bude mít výstupní proud vyšší hodnotu, než kterou je FV panel schopný dodat. Dochází tedy k optimalizaci napětí a proudu takovým způsobem, aby na voltampérové charakteristice byl dosažen bod maximálního výkonu MPP.[61]

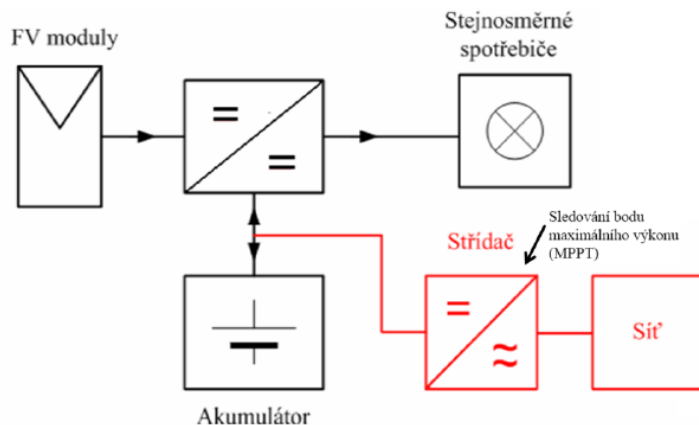


Obr. 23 Princip funkce regulátorů PWM a MPPT [62]

3.3.6 Rozdělení FV systémů podle zapojení

Podle aplikace můžeme fotovoltaické systémy dělit na autonomní systémy (Grid-off), hybridní systémy a systémy přímo spojené se sítí bez možnosti akumulace elektrické energie.[58]

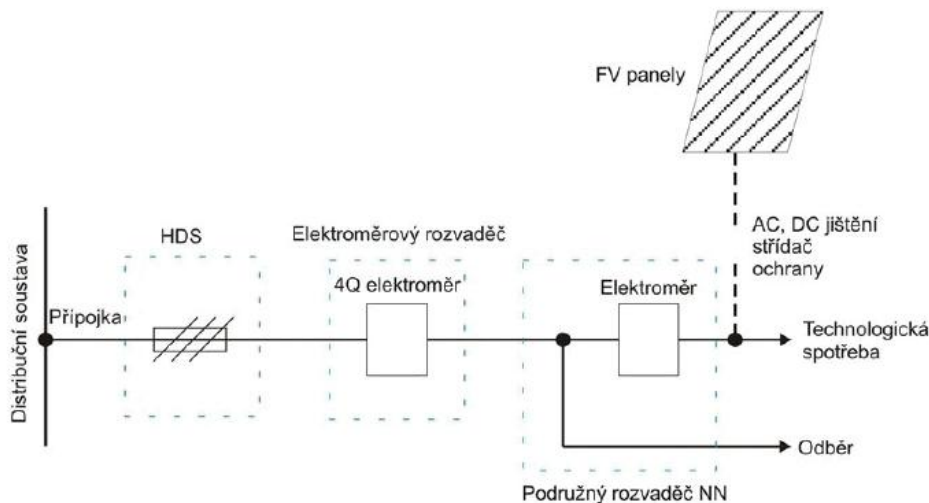
Grid-off (ostrovní systém) lze použít v místech, kde není nebo je hůře přístupná přípojka k vnější distribuční síti. Tento systém je vhodným kandidátem například pro pohon vodních pump, zdroj elektrické energie na chatách, napájení dopravní signalizace apod. Ostrovní systém je složen z FV panelů, regulátorem, akumulátorovou baterií, střídačem a ochranných obvodů, které chrání akumulátorovou baterii před nadměrným nabíjením, nebo před hlubokým vybitím. Tyto ostrovní systémy používají baterie, které jsou konstruované pro pomalé vybíjení a nabíjení. K tomuto systému lze připojit stejnosměrné spotřebiče nebo přes střídač připojit běžné síťové spotřebiče na střídavé napětí. Schéma ostrovního systému je znázorněno na obrázku 24.[58]



Obr. 24 Schéma systému Grid-off [58]

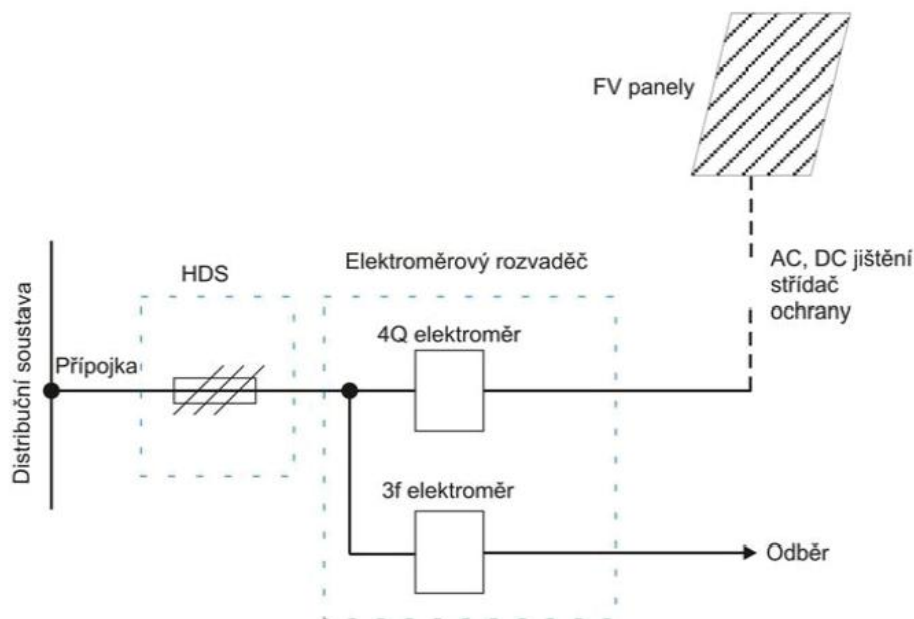
Grid-on je systém, ve kterém je všechna vyrobená elektrická energie využita. Jsou většinou tvořeny z většího množství FV panelů, zařízením pro měření a regulaci elektrické energie, střídačem a zahrnuje také síťové ochrany. Pro rodinné domy se instaluje výkon FV systému kolem 1 – 10 kWp a na střechy větších obytných budov nebo na volném prostoru mohou mít instalace FV systému 20 kWp až jednotky MWp. Existují zde dvě varianty připojení k vnější distribuční soustavě.[58]

- a) Systém zapojení v Zeleném bonusu - Tato varianta připojení se využívá v případech, kdy je většinová část elektrické energie vyrobená z FV panelů spotřebována v domácnosti.[58]



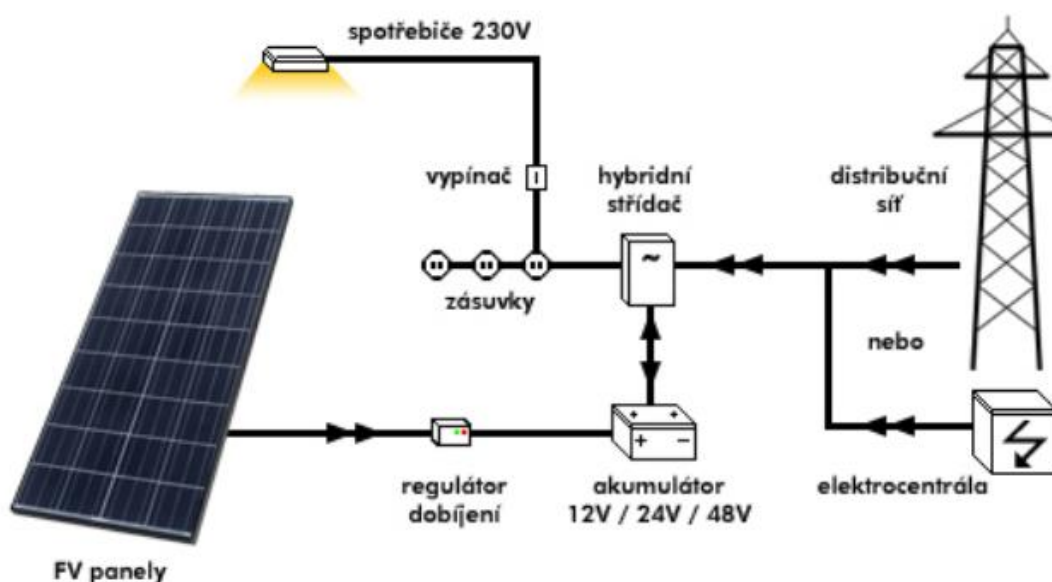
Obr. 25 Schéma zapojení systému Grid-on v zeleném bonusu [58]

- b) Systém zapojení ve Výkupním tarifu - FVE je v této variantě připojena mezi hlavní domovní skříň a stávající elektroměr. Takto připojená FVE dodává veškerou vyrobenou elektrickou energii do distribuční sítě.[58]



Obr. 26 Schéma zapojení systému Grid-on ve výkupním tarifu [58]

Hybridní FV systém je kombinací systému Grid-off a Grid-on. Vůči systému Grid-on má tento systém výhodu v tom, že maximálně využije vyrobenou elektrickou energii například pro ohřev užitkové vody, napájení klimatizací a dalších elektrických spotřebičů s minimálními přetoky energie do distribuční sítě. Hybridní systém dokáže v reálném čase kombinovat využití elektrické energie ze sítě a z akumulátorové baterie podle potřeby. Díky maximálnímu využití energie z FV panelů šetří náklady a navíc může být využit jako záložní zdroj elektrické energie. Další výhodou je využití inteligentního hybridního střídače. Ten má integrovanou funkci, která dokáže využít přebytek vyrobené energie tím, že jí přesměruje do energeticky náročných spotřebičů.[58][63]



Obr. 27 Schéma hybridního FV systému [63]

3.3.7 Typy solárních nabíjecích stanic pro elektromobily

Elektromobily jsou vystaveny kritice vzhledem k jejich zdroji elektrické energie. Negativní signály jsou hlavně z tepelných elektráren, které znečišťují životní prostředí prostřednictvím

spalin, které vypouštějí do ovzduší. Tento problém by se mohl vyřešit nabíjením elektromobilu pomocí dobíjecích stanic s obnovitelnými zdroji elektrické energie, které by byly situovány na veřejném prostoru jako parkovací místa. Díky velké rozloze parkovišť by se zvedlo využití u fotovoltaických elektráren a tím by se prostor mnohonásobně využil. Zároveň by se předešlo tomu, aby na jiném pozemku došlo k zabránění půdy pro výstavbu fotovoltaických elektráren.

K nabíjení je možné využít energii získanou ze slunce a tak se stane nabíjení elektromobilů finančně výhodné a ekologicky šetrné. Provedení spočívá v napájení běžné zásuvky fotovoltaickými panely s připojeným střídačem. S ohledem pro efektivní nabíjení je většinou nutná řídicí jednotka, která nabíjení ovládá podle požadavků elektroniky v elektromobilu a podle současné výroby solárních panelů. Solární elektrárny pro domácí využití jsou již běžně dostupné. Příkladem může být solární přístřešek od společnosti Elektromobil s.r.o.[64]

Podle distributora elektrické energie E.ON zpřístupní vlastnictví elektromobilu výhodnou distribuční sazbu. Například pro domácnosti je to sazba D27d a díky ní klesá průměrná cena elektřiny na 3 Kč/kWh. Pro porovnání lze uvést, že průměrná domácnost platí za elektrickou energii 4,5 Kč/kWh. [64]

V roce 2012 během Evropského týdne mobility v Praze byla představena solární nabíječka pro elektromobily od společnosti Elektromobil s.r.o. Tato solární nabíječka je vidět na obrázku 28, která slouží jako parkovací místo. Elektromobil vjede pod fotovoltaický přístřešek a uživatel zasune nabíjecí kabel do zásuvky 230 V a následně spojí s autem. Je složena z 10 kusů solárních panelů a během roku vyrobí v průměru elektřinu pro najetí 15 000 km. Z důvodu kontinuálního nabíjení je připojena na distribuční soustavu a tak se vyvaruje toho, že se elektromobily budou nabíjet i v případě nedostatečného slunečního záření. Díky připojení fotovoltaických panelů s vnější soustavou nekolísá nabíjecí proud, který je dorovnáván ze sítě na 16 A. Výrobce poskytuje i pro širší veřejnost garážovou verzi. Ta má předpokládaný výkon 2,4 kWp a může být provozována, jako běžná dobíjecí stanice na 230 V. Může být připojena do sítě anebo provozována jako ostrovní síť. Firma uvádí využitelnost přístřešku i pro motorová vozidla jako ochranu před krupobitím.[65]



Obr. 28 Solární nabíječka od společnosti Elektromobil s.r.o. [65]

Solární nabíječka od Německé automobilky BMW byla představena v roce 2014. Má podobu krytého parkovacího místa s využitím nabíjecího systému Wallbox, který by byl součástí domu. Na střeše objektu jsou položeny fotovoltaické panely s výkonem 3,6 kWp, které pak nabíjejí baterii elektromobilu. I v tomto případě je nabíjecí stanice připojena k distribuční soustavě pro dorovnání nabíjecího proudu, protože nedokáže vyrobit dostatek elektrické energie k nabíjení akumulátorů. Na displeji, který je součástí nabíjecí stanice se může sledovat aktuální bilance vyrobené elektřiny ze slunce a toky energie z distribuční soustavy. Je-li přebytek výroby z fotovoltaických panelů, lze ho využít pro napájení domácnosti. Pro solární panely jsou vyrobeny z vysoce odolného skla, a tak odolávají s přehledem vnějším klimatickým podmínkám. [66]



Obr. 29 Solární nabíječka od BMW [66]

V San Francisku v roce 2015 byly uvedeny do provozu tři solární nabíjecí stanice firmou Envision Solar. Ty však nejsou připojeny k elektrickým rozvodům distribuční soustavy. Výhoda je v tom, že na místo určení se pouze dovezou a zároveň odpadá legislativa pro připojení k rozvodné síti. Každá z těchto nabíjecích stanic má výkon 3,3 kWp a jejich součástí je navíc lithium baterie o akumulační hustotě energie 22,5 kWh. Solární stanice nemrhá svou sluneční energií ve stavu, kdy nedobíjí elektromobil a uchovává ji v baterii pro pozdější využití. [67]



Obr. 30 Solární nabíječka od Envision Solar [67]

V Kalifornii v San Diegu na parkovací ploše společnosti Kyocera bylo vybudováno 25 solárních přístřešků. Toto parkoviště spojuje v sobě architekturu s funkčními obnovitelnými zdroji energie a celá koncepce tohoto parkoviště je založena na trendu udržitelného rozvoje. Cílem tohoto parkoviště je zvýšit užitkovou hodnotu a poskytovat výrobu elektrické energie bez přídavných emisí.[68]

Fotovoltaické panely jsou připevněny ve speciálních rámech z pozinkované oceli s integrovaným osvětlením na betonovém podkladu a biomokřinou. Do biomokřiny odtéká dešťová voda, která se shromažďuje pomocí žlábků, které jsou po obvodu panelu. Tam pak voda prochází organickým a anorganickým filtračním materiálem. Díky tomuto systému je vystupující voda čistá a vhodná pro další využití. Osvětlení zabudované v panelech prosvětluje prostory pod panely parkoviště během noci pro větší bezpečnost.[68]

Toto parkoviště čítá dohromady 1400 fotovoltaických panelů od firmy Kyocera a 200 průhledných panelů, které zlepšují vzhled parkoviště. Zároveň propouštějí denní světlo pro lepší viditelnost pod solárními stromy. Na tomto parkovišti je vyhrazeno 186 parkovacích míst a nabíjecí výkon systému je 235 kW na střídavý proud a 279 kW na stejnosměrný proud. Měníče tohoto systému jsou typu SMA (American Sunny Central) SC125U. Roční výroba energie tohoto parkoviště je 431 MWh.[68]



Obr. 31 Parkoviště společnosti Kyocera [68]

Distributor elektrické energie PRE se spoluprací hlavního města postavila v pražských Holešovicích rychlonabíjecí stanici pro elektromobily. Pozemek pro výstavbu poskytl magistrát města a v případě poptávky bude PRE plánovat vybudování dalších stanic.[69]

PRE provozuje 63 dobíjecích stanic a uvádí, že každým rokem se množství prodané energie zvyšuje. Například v roce 2017 se růst spotřeby elektrické energie pro dobíjení pohyboval o 10 000 kWh výše, než v roce 2016 kdy byla spotřeba zhruba 40 000 kWh.[69]

Pro výrobu elektrické energie stanice využívá fotovoltaické panely. Součástí stanice k uchování energie jsou akumulátory, které v případě překročení limitů napětí ve vnější síti mohou z baterií do sítě energii buď odebrat, anebo naopak dodat. Zaparkovat a nabíjet zde mohou současně dva elektromobily. Jeden se může nabíjet v režimu rychlonabíjení, který se

nabije v řádech desítek minut a druhý může být připojen ke standardní nabíječce, která elektromobil dobije během pár hodin.[69]



Obr. 32 Nabíjecí stanice PRE v Praze. [69]

4 SROVNÁNÍ AUTOMOBILU A ELEKTROMOBILU Z POHLEDU SOLÁRNÍ ÚČINNOSTI

V této kapitole proběhne srovnání mezi konvenčními automobily a elektromobily se solárním pohonem z pohledu účinnosti. Bude zde popsána teorie účinnosti spalovacího motoru, elektromotoru a náležité prvky, které mají vliv na jejich účinnost. O účinnosti solárních článků je pojednáno v předchozích kapitolách.

4.1 Účinnost spalovacího motoru

Obecně je snaha dosahovat co nejvyšší účinnosti. Ideálního případu přeměny energie nelze v reálném systému docílit, neboť vlivem ztrát a dalších doprovodných jevů toho nelze dosáhnout. V případě spalovacího motoru se jedná o přeměnu chemické energie v podobě paliva na energii kinetickou, kde velká část ztrátové energie přechází do tepla.[70]

Čtyřdobý spalovací motor je založen na čtyřech po sobě navazujících dobách, probíhajících během dvou otáček klikového hřídele. Veškerá práce se odehrává nad pístem a výměna náplně ve válci je prováděna pomocí ventilů, které jsou ovládány vačkovým hřídelem.[71]

Definice účinnosti spalovacího motoru se vyjadřuje jako poměr mezi efektivním užitečným výkonem P_e motoru a množstvím energie přivedené palivem za jednotku času. Součinem dolní výhřevnosti paliva H_u a hmotnosti paliva M_p přivedený za jednotku času se určí energie paliva.[71]

$$\eta_{ef} = \frac{P_e}{H_u * M_p} \quad (-, W, Jkg^{-1}, kg) \quad (4.1)$$

Rovnice 4.1 však znázorňuje celkovou efektivní účinnost a pro hlubší pochopení ji dále rozepíšeme na indikovanou účinnost a mechanickou účinnost. Indikovaná účinnost η_i popisuje, kolik tepla obsažené v palivu se přemění na mechanickou práci v pístu. Mechanická účinnost η_m vyjadřuje efektivitu přenosu výkonu nebo práce z pístu na klikovou hřídel.[70]

$$\eta_i = \frac{P_i}{H_u * M_p} \quad (-, W, J/kg, kg) \quad (4.2)$$

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad (-, W, W) \quad (4.3)$$

$$\eta_{ef} = \eta_i * \eta_m = \frac{3600}{m_{pe} * H_u} \quad (-, -, kJ, kg/kWh, J/kg) \quad (4.4)$$

Kde je P_i - indikovaný užitečný výkon, P_e - efektivní užitečný výkon, m_{pe} - měrná spotřeba paliva a 3600 - tepelný kvocient jedné kWh.[70]

Kvalitním ukazatelem přeměny tepelné energie paliva do mechanické práce motoru je měrná spotřeba paliva m_{pe} . Bude-li hodnota m_{pe} nižší, bude tím vyšší celková účinnost motoru. Dolní výhřevnost paliva H_u pro uhlovodíková paliva jako je nafta či benzín se pohybuje na hodnotě $H_u \approx 43$ MJ/kg. Pro osobní automobily se zážehovými motory je hodnota měrné spotřeby paliva m_{pe} v rozsahu 250-370 g/kWh a pro automobily se vznětovým motorem 195-270 g/kWh. Tyto hodnoty jsou nejnižší měrné spotřeby paliva pro daný typ motoru v režimu jmenovitého výkonu.[72]

Dosadíme hodnoty do vzorce celkové efektivní účinnosti spalovacího motoru a později tyto vypočítané teoretické hodnoty účinnosti motoru vyhodnotíme v závěrečném shrnutí.

Výpočet teoretické celkové efektivní účinnosti zážehového motoru:

a) $m_{pe}=250$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,25 * 43 * 10^6} * 1000 = 0,334$$

b) $m_{pe}=370$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,37 * 43 * 10^6} * 1000 = 0,226$$

Výpočet teoretické celkové efektivní účinnosti vznětového motoru:

a) $m_{pe}=195$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,195 * 43 * 10^6} * 1000 = 0,429$$

b) $m_{pe}=270$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,27 * 43 * 10^6} * 1000 = 0,310$$

4.2 Elektromotory

Elektromotory mají všeobecně výhodu v tom, že si vystačí pouze s rotačním pohybem. Z tohoto tvrzení odpadá složitý mechanický ztrátový mechanismus a tedy i z tohoto důvodu dosahují elektromotory vyšší účinnosti než spalovací motory. Další předností elektromotoru je, že součástí elektromobilu nemusí být alternátor, který slouží pro výrobu elektřiny u konvenčních automobilů. Další výhodou, kterou elektromobil disponuje je rekuperace elektrické energie při zpomalování a brzdění. Vlivem rekuperace se ušetří podle studie amerického úřadu pro energetickou účinnost a obnovitelné zdroje až 17 % elektrické energie. Další vlastností elektromotorů je jejich maximální točivý moment v oblasti nulových otáček. Se zvyšujícími otáčkami klesá točivý moment motoru. Spalovací motor má naopak s rostoucími otáčkami zvyšující se točivý moment. Elektromotor má tedy nejvyšší sílu v nejnižších otáčkách a tím je zajištěn předpoklad svižného rozjezdu. Na rozdíl od spalovacího motoru má velký rozsah pracovních otáček a tudíž nepotřebuje vícecestupňovou převodovku. Vlivem jednostupňové převodovky je pohon efektivnější a hlavně jak už bylo řečeno jednodušší. Výhody elektromotorů jsou také v menších nárocích na údržbu, jelikož nepotřebují pravidelné výměny oleje, neskládá se ze stovek komponentů, které se musí obměňovat jako výfuky, svíčky, katalyzátory, filtry, brzdové destičky. Kdysi docházelo k opotřebení kartáčů, ale v současné době jsou již elektromotory bezkartáčové. Životnost závisí také na vyvážení a kvalitě ložisek rotoru. Vlivem těchto předpokladů lze považovat životnost elektromotorů za poměrně dlouhou.[73][74]

Společnost Tesla Motors pro své elektromobily Model S a Model X používají třífázové asynchronní indukční elektromotory pracující se střídavým proudem. V jejich nejnovějším komerčně vyráběném vozidle Tesla Model 3 však pohon obstarává elektromotor s permanentními magnety. Elektromotory s permanentními magnety mají dvě hlavní výhody. Jednak mají nízké výrobní náklady a jsou efektivnější v nízkých a středně vysokých rychlostech. Jedinou nevýhodou motorů s permanentními magnety je, že se musí vyrábět ze vzácných kovů.[75]

4.2.1 Ztráty elektromotoru

Účinnost u elektromotoru se stanoví jako poměr mezi mechanickým výkonem na hřídeli P_{mech} a elektrickým příkonem na svorkách statorového vinutí P_1 . Vyšší účinnost tedy znamená, že elektromotor přeměňuje efektivněji elektrický příkon P_1 na mechanický výkon P_{mech} s menšími ztrátami.[76]

Ztráty v elektromotoru lze rozdělit do čtyř skupin ztrát:

1. Mechanické ztráty ΔP_{mech}

Mechanické ztráty jsou tvořeny vlivem tření v ložiscích, ventilačními ztrátami vlivem tření rotujících částí o vzduch aj. První zmiňované jsou u zaběhaného motoru a při konstantní teplotě lineárně závislé na otáčkách.

2. Ztráty v železe ΔP_{Fe}

Výpočet ztrát v železe je méně přesný, protože magnetický obvod motoru tvoří nelineární magnetizační charakteristiky materiálů. Lze je rozdělit na ztráty hysterezní a na ztráty vířivými proudy.

3. Ztráty ve vinutí statoru a rotoru $\Delta P_{\text{stator,vin}}$, $\Delta P_{\text{rotor,vin}}$

Ztráty ve vinutí závisí na odporu vinutí a druhé mocnině proudu.

4. Přídavné ztráty $\Delta P_{\text{přid}}$

Přídavné ztráty jsou tvořeny rozptylovými toky vyšších harmonických, nerovnoměrnostmi ve vzduchové mezeře, vířivými proudy v hmotách blízko vinutí aj.[76][77]

Celkové ztráty elektromotoru jsou vyjádřeny rovnicí 4.5:[77]

$$\Delta P = \Delta P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{mech}} + \Delta P_{\text{stator,vin}} + \Delta P_{\text{rotor,vin}} + \Delta P_{\text{přid}} \quad (\text{W,W,W,W,W,W}) \quad (4.5)$$

Účinnost elektromotoru je definována vztahem:[77]

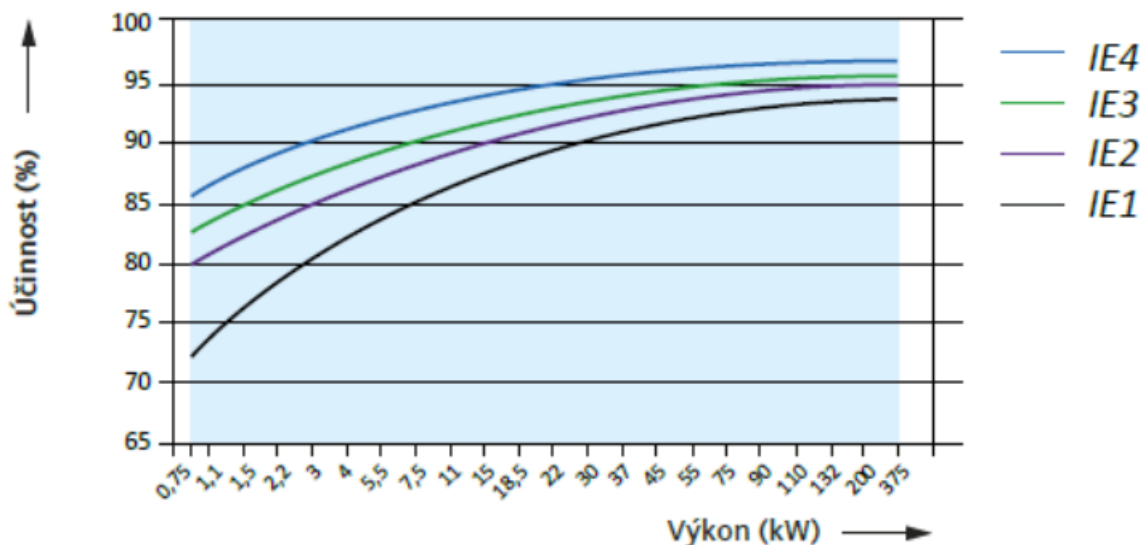
$$\eta_{\text{el,mot}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (-, \text{W,W,W,W,W,W}) \quad (4.6)$$

4.2.2 Účinnost asynchronního elektromotoru

Účinnost pro asynchronní elektromotory je definovaná v rámci států Evropské unie podle normy IEC 60034-30-1, která specifikuje čtyři třídy účinnosti pro frekvenci 50 Hz a 60 Hz. [78]

1. IE1 - standardní účinnost elektromotoru
2. IE2 - elektromotory se zvýšenou účinností
3. IE3 - elektromotory s vysokou účinností
4. IE4 - elektromotory s velmi vysokou účinností

Z této normy vychází nařízení 640/2009 a dodatek 04/2014. Tyto dva dokumenty pojednávají o spotřebě energie a energetické účinnosti asynchronních motorů v průmyslovém prostředí. Mají za cíl snížit spotřebu energie a emise oxidu uhličitého. Rozdíl účinností těchto tříd je zachycena na obrázku 33. Obecně lze říci, že pro elektromotor s vyšším výkonem stanovuje norma IEC 60034-30-1 vyšší nároky na účinnost.[78]



Obr. 33 Účinnost asynchronních elektromotorů podle IEC 60034-30-1[78]

V případě elektromobilu Tesla Model S je výkon použitého asynchronního elektromotoru 310,2 kW. Pokud by tento elektromotor splňoval evropskou normu IEC 60034-30-1 třídy účinnosti IE3, dosahoval by podle obrázku 33 v oblasti jmenovitého výkonu minimální účinnosti 95 %. Podle Asociace pro elektromobilitu České republiky je však provozní účinnost elektromotoru minimálně 90 %.[79]

4.3 Účinnost solárního elektromobilu

Účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je v dnešní době u běžně dostupných fotovoltaických článků kolem 15-18 %. Pro následující předpoklad účinnosti solárního elektromobilu budeme uvažovat účinnost fotovoltaických panelů 24,1 %, tedy stejnou účinnost jako má tým z Tokajské university u svého solárního elektromobilu.

Za předpokladu, že by provozní účinnost elektromotoru byla 90 % a výrobu elektrické energie by obstarávaly fotovoltaické panely o účinnosti 24,1 %. A pokud bychom neuvažovaly ztráty při nabíjení baterie, ztráty ve vodičích vlivem oteplování, ztráty v regulátoru, parazitní ztráty a další ztráty přídavné, tak by celková účinnost od výroby energie po využití pro pohon solárního elektromobilu byla 21 %.

4.4 Shrnutí

Teoretická účinnost konvenčního automobilu se zážehovým motorem je v rozsahu 22-33 % a v případě vznětového motoru je v rozmezí 31-42 %. Asociace pro elektromobilitu České republiky však uvádí, že v reálných podmínkách je účinnost spalovacích motorů 15-20 %.[79] Z uvedených informací vyplývá, že konvenční auta se spalovacími jsou oproti elektromobilům velmi neúčinná vlivem samotného pohonného ústrojí. Více než 80 % energie, která je ukrytá v palivu, se přemění na tepelné ztráty a na vlastní mechanickou práci spalovacího motoru se využije maximálně 20 % palivové energie. Zkrátka se vytopí do atmosféry přes chladicí a výfukový systém.[74][79]

Elektromobil má oproti konvenčním automobilům několik výhod. Elektromotory samy o sobě mají vysokou účinnost, elektromobil netvoří během jízdy emise, je možné ho napájet elektrinou pocházející z obnovitelného zdroje elektrické energie, má snadnou údržbu a především

splňuje ideální požadavky na městský a příměstský provoz, protože naprostá většina jízd autem je v rozsahu 50 km denně. Emise však mohou vznikat při výrobě elektrické energie, proto je žádoucí elektromobily nabíjet z obnovitelných zdrojů.[79]

Předpokládaná celková teoretická účinnost od výroby do využití energie pro pohon solárního elektromobilu je při zanedbání výše uvedených ztrát 21 %. Ve výsledku to znamená, že solární elektromobil se významně přibližuje svou účinností k účinnosti konvenčních automobilů. Navíc se vyrobená energie pro elektromobil nemusí těžit a následně zpracovávat na benzín a naftu jako pro motorová vozidla. Když bychom brali ohled i na účinnost těžby a rafinace ropy na paliva tak by elektromobil z pohledu účinnosti dominoval nad automobily se spalovacími motory.

I přes všechno zde uvedeného se automobily se spalovacími motory drží na vrcholu. Hlavním důvodem je, že nepotřebují těžkou baterii s omezenou vzdáleností dojezdu a stačí je pouze dotankovat na jedné ze sítě tankovacích stanic.[74] Solární elektromobily mohou však tuto skutečnost změnit tím, že jsou částečně energeticky soběstačné a nepotřebují tak drahá paliva.

5 NÁVRH SOLÁRNÍ NABÍJECÍ STANICE

Solární nabíjecí stanice bude tvořena fotovoltaickými panely, střídačem, vyrovnávačem napětí a střídačem pro umožnění nabíjení elektromobilu střídavým proudem. Tento systém bude sloužit pro nabíjení elektromobilu vyrobeného dánskou firmou El Trans A/S pod názvem City-El a Citroenu Berlingo electric.

Jedná se o ostrovní systém pro nabíjení elektromobilů situovaný v městské části Brno-Medlánky. Návrh stacionárního přečerpávacího systému zahrnuje čtyři fotovoltaické panely zapojené do série o celkovém výkonu 1 kWp a generujícím proudem 8,18 A v oblasti maximálního výkonu, jejichž vývod bude napojen na regulátor. Regulátor bude mít na výstupu 36 V, aby mohl napájet tři sériově spojené gelové akumulátory GF 12 105 V[80], ve kterých bude elektrická energie skladována. Na tyto tři gelové akumulátory budou zapojeny dva vyrovnávače napětí, které budou prodlužovat životnost a funkci baterií tím, že vyváží proces nabíjení těchto baterií. Na akumulátory bude zapojen měřič BMV 700, který bude neustále monitorovat stav akumulčního systému. Fotovoltaický systém bude chráněn přepětíovou ochranou a pojistkovými odpojovači s válcovými pojistkami. Elektromobil City-El má baterii složenou z 12 sériově spojených LFP akumulátorů, které tvoří celkové napětí v rozmezí 30-44,4 V a velikost baterie tak dosahuje 6,9 kWh při uvažování napětí na článku 3,2 V. Svorky pro připojení elektromobilu City-El budou mezi fotovoltaickými panely a regulátorem mezi dvěma pojistkovými odpojovači v podobě svorek MC4, aby elektromobil šel nabíjet přímo z fotovoltaických panelů a v případě nepříznivého počasí také z akumulčního zdroje. Pro napájení elektromobilu Citroenu Berlingo electric musí být připojen střídač. Tento elektromobil lze nabíjet pomocí jednofázové 230 V zásuvky. Tudíž potřebujeme modulovat stejnosměrné napětí akumulčního systému na tuto hodnotu střídavého napětí.

5.1 Fotovoltaické panely

Zvolené fotovoltaické panely AC-250P/156-60S mají polykrystalickou strukturu článků a jsou vyrobeny německou firmou Axitec. Panely mají účinnost 15,35 % o celkovém výkonu 250Wp. Jsou umístěny na dřevěném přístřešku. Střecha má rozměry 3,5x5 metrů a je situována na východní stranu. Na střeše jsou použité čtyři panely, protože více než čtyři fotovoltaické panely by nemohl jeden regulátor se vstupním napětím 150 V zpracovat. Celkově tedy tvoří fotovoltaický systém dohromady 1 kWp výkonu.

| Parametr | Hodnota | Jednotka |
|-----------|-------------|----------|
| P_{MPP} | 250 | Wp |
| U_{MPP} | 30,7 | V |
| I_{MPP} | 8,18 | A |
| U_{OC} | 37,8 | V |
| I_{SC} | 8,71 | A |
| Účinnost | 15,35 | % |
| Rozměr | 1645x990x38 | mm |
| Hmotnost | 19 | kg |

Tab. 9 Parametry použitého fotovoltaického panelu Axitec[81]

5.2 Regulátor SmartSolar MPPT 150/35

Jako další komponenta systému, byl vybrán regulátor SmartSolar MPPT 150/35 od společnosti Victron Energy. Tento regulátor pracuje se vstupním napětím 150 V a umožňuje nabíjení baterií proudem až do 35 A. Regulátor automaticky rozpozná napětí nabíjeného bateriového uspořádání. Tím se automaticky nastaví na 12 V, 24 V, nebo 48 V systém pouze jednou. Pokud je později požadováno jiné napětí, musí se poté změnit ručně pomocí manuálu. V tabulce 10 je uvedena technická specifikace regulátoru.[82]

Regulátor zahrnuje prvky ochranné jako je:

- ochrana proti přehřátí
- ochrana proti snížení výkonu vlivem vysokých teplot
- ochrana proti FV zkratu včetně ochrany proti zpětnému proudu
- ochrana proti přepólování[82]

| Regulátor nabíjení BlueSolar | MPPT 150/35 |
|---|--|
| Napětí baterie | 12/24/48 V automatický výběr (36 V: manuální) |
| Max. proud baterie | 35 A |
| Max. FV příkon, 12 V 1a,b) | 500 W (MPPT rozsah 15 V až 130 V) |
| Max. FV příkon, 24 V 1a,b) | 1000 W (MPPT rozsah 30 V až 130 V) |
| Max. FV příkon, 48 V 1a,b) | 2000 W (MPPT rozsah 60 V až 130 V) |
| Max. zkratovací proud FV 2) | 40 A |
| Max. napětí FV naprázdno | 150 V |
| Účinnost při plné zátěži | 98 % |
| Vlastní spotřeba | 12 V: 20 mA 24 V: 15 mA 48 V: 10mA |
| Nabíjecí napětí při „absorpci“ | Výchozí nastavení: 14,4 V / 28,8 V / 57,6 V (nastavitelné) |
| Nabíjecí napětí při „vyrovnávání“ 3) | Výchozí nastavení: 16,2 V / 32,4 V / 64,8 V (nastavitelné) |
| Nabíjecí napětí při „udržování“ | Výchozí nastavení: 13,8 V / 27,6 V / 55,2 V (nastavitelné) |
| Algoritmus nabíjení | Několikafázové adaptabilní (osm programovatelných algoritmů) nebo uživatelsky definovaný algoritmus |
| Teplotní kompenzace | -16mV / -32mV / -64mV / °C |
| Ochrana | Proti přepólování baterií (pojistka není přístupná uživateli) Proti zkratu na výstupu / přehřátí |
| Provozní teplota | -30 až +60 °C (plný jmenovitý výkon při teplotě až 40 °C) |
| Vlhkost | 95%, nekondenzující |
| Max. nadmořská výška | 5000m (plný výkon do 2000m) |
| Podmínky prostředí | Vnitřní typ 1, neklimatizované |
| Stupeň znečištění | PD3 |
| Port pro datovou komunikaci a dálkové zapínání / vypínání | VE.Direct (viz dokument o datové komunikaci na naší webové stránce) |

Tab. 10 Technická specifikace regulátoru SmartSolar MPPT 150/35[82]

Regulátor SmartSolar je vybaven velmi rychlým sledováním MPPT. Výrobce Victron Energy uvádí, že pokud bude zataženo a bude velmi měnící se intenzita slunečního záření, dodá o 30 % více příkonu energie ve srovnání s PWM regulátory a až o 10 % více ve srovnání s pomalejšími MPPT regulátory. Není vybaven chladícím ventilátorem a celkově jeho maximální účinnost přesahuje 98 %. Nabíjení maximálním proudem 35 A je umožněno do teploty 40°C. U regulátoru lze plně nabíjecí algoritmus naprogramovat podle požadavků uživatele nebo zvolit jeden z osmi předprogramovaných algoritmů. Na obrázku 34 je zjednodušené schéma zapojení regulátoru.[82]



Obr. 34 Dvou vodičové zjednodušené schéma zapojení regulátoru SmartSolar MPPT 150/35[82]

5.3 Vyrovnávač napětí a monitoring baterie

Důvodem zahrnutí bateriových vyrovnávačů napětí do tohoto projektu spočívá v prodloužení životnosti nabíjených baterií tím, že se vyváží nabíjecí proces baterií. Velké rozdíly úrovně nabití vedou k poškození baterií vlivem nadměrného nabíjení. Nebo naopak by se baterie mohly znehodnotit z důvodu sulfatace, která je způsobená nenabitím baterie do plného stavu. V našem případě tři sériově zapojené baterie se nebudou nadbytečně přebíjet a měli by mít stejnou úroveň nabití. Budou použity dva bateriové vyrovnávače napětí od společnosti Victron Energy, jejichž technická specifikace je uvedena v tabulce 11.[83]

| Vnitřní část | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Vstupní rozsah napětí | Do 18V na baterii, 36V celkem |
| Úroveň zapnutí | 27,3V +/- 1% |
| Úroveň vypnutí | 26,6V +/- 1% |
| Spotřeba proudu ve vypnutém stavu | 0,7mA |
| Max. vyrovnávací proud | 0,7A (jestliže je odchylka > 100mV) |
| Úroveň spuštění alarmu | 210mV |
| Úroveň resetování alarmu | 140mV |
| Ochrana proti přehřátí | Ano |
| Provozní teplota | -30°C až +50°C |
| Vnější část | |
| Připojovací terminály | Šroubové svorky 6mm ² |
| Třída ochrany | IP22 |
| Hmotnost | 0,4kg |
| Rozměry (výška x šířka x hloubka) | 100 x 113 x 47mm |

Tab. 11 Technická specifikace vyrovnávače napětí od Victron Energy[83]

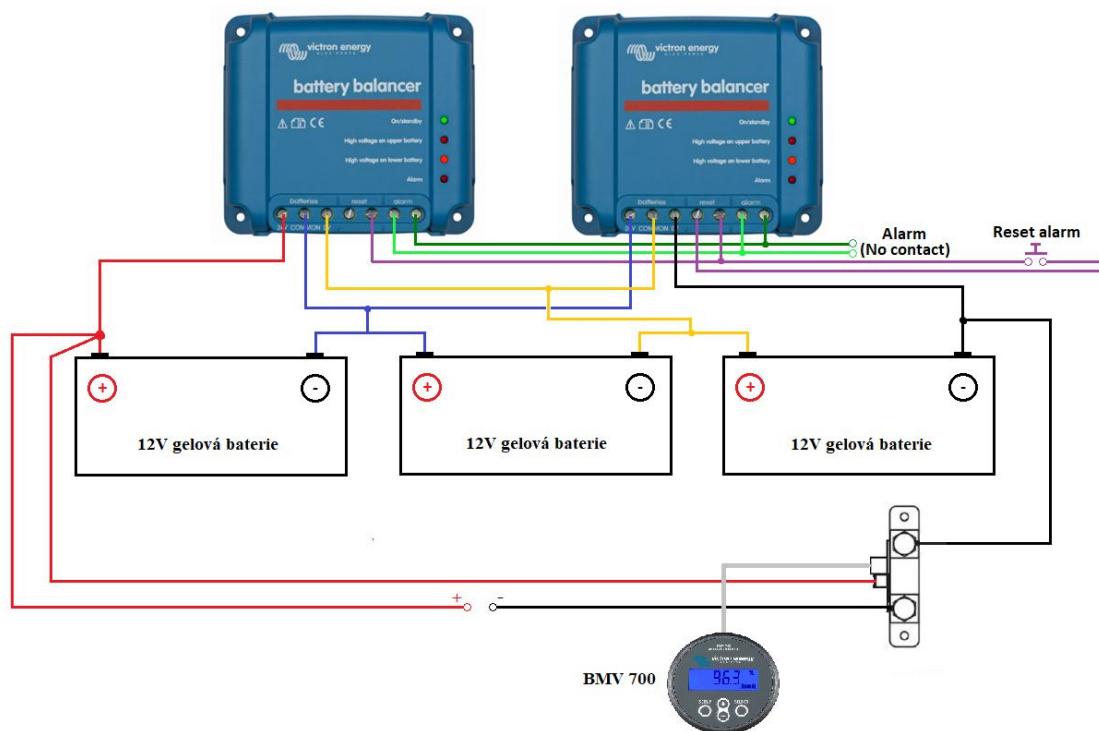
Bateriový vyrovnávač napětí vyrovnává nabíjecí napětí dvou 12 V akumulátorů zapojených do série. Jestliže by se nabíjecí napětí 24 V systému zvýšilo na hodnotu vyšší než 27 V, bateriový vyrovnávač napětí se aktivuje a porovná napětí obou připojených baterií. Vyrovnávač napětí může při nejvyšším napětí spotřebovat do 1 A z baterie. Výsledkem rozdělení nabíjecích proudů budou baterie, které mají stejnou úroveň nabití.

K bateriím bude zapojen měřič BMV 700. Bude poskytovat pro uživatele zpětnou vazbu o tom, v jakém stavu se právě baterie nachází. Neustále bude měřit tok výkonu mezi zátěží a bateriovým systémem.[84]

| Měřič BMV 700 | |
|------------------------|---------------|
| Napájecí napětí | 6,5 - 95 VDC |
| Provozní teplota | 40°C až +50°C |
| Přesnost měření proudu | +/- 0,4 % |
| Přesnost měření napětí | +/- 0,3 % |
| Bezpečnostní norma | EN 60335-1 |

Tab. 12 Technické parametry měřiče BMV 700 [84]

Uživatele bude BMV 700 informovat o stavu napětí baterie, toku proudu, toku výkonu, stavu nabití a odhad zbývajících času, po kterou může zátěž odebírat elektrickou energii.[84] Na obrázku 35 je dvouvodičové schéma připojení vyrovnávače napětí k bateriím spolu s měřičem BMV 700.



Obr. 35 Dvouvodičové schéma zapojení dvou vyrovnávačů napětí a měřičem BMV 700 od firmy Victron Energy pro tři gelové baterie zapojené do série.

5.4 Střídač

Vybraný DC/AC měnič napětí na obrázku 36 má název Pure Sine Wave Inverter se jmenovitým výkonem 2 kW od firmy Reliable Electric. Tento střídač je vhodný pro zapojení do energetických systémů solárních a větrných elektráren. Jmenovitý výkon střídače 2 kW je odvozený z doporučení výrobce Reliable Electric. Na svých stránkách uvádí, že při chodu střídače v aplikacích induktivní zátěže, by měl mít střídač 3 krát až 7 krát vyšší jmenovitý výkon než samotná aplikace. Náš střídač bude optimalizován na vstupní napětí 36 V, který bude stejnosměrné napětí měnit na hodnotu 230 V střídavého napětí. V tabulce 13 je uvedena technická specifikace vybraného střídače.[85]



Obr. 36 Střídač Pure Sine Wave Inverter[85]

| | |
|-------------------------|---|
| Typ střídače | Off Grid |
| Vstupní napětí | 12V/ 24V/ 36V/ 48V/ 110V |
| Rozsah vstupních napětí | 10-15V DC/ 21-30V DC/ 42-60V DC/ 90-135V DC |
| Výstupní napětí | 100/ 110/ 120V AC nebo 220/ 230/ 240V AC |
| Jmenovitý výkon | 2000 W |
| Špičkový výkon | 4000 W |
| Frekvence | 50/60 Hz |
| Zkreslení výstupu - THD | < 5% |
| Možnost přizpůsobení | Ano |
| Pracovní teplota | 10°C až 50°C |
| Účinnost | > 90% |

Tab. 13 Technická specifikace střídače Pure Sine Wave Inverter[85]

5.5 Návrh elektroinstalace

V této části se provede výpočet dimenzování vodičů, volba jisticích prvků. Schéma zapojení FV systému je přiloženo v příloze A. Při práci a obsluze elektrických zařízení musíme dodržet stanovené normy.

ČSN EN 50110-1 ed.3, ČSN EN 50110-2 ed.2 - Obsluha a práce na elektrických zařízeních

ČSN 33 2000-1-ed.2 - Elektrická instalace nízkého napětí

ČSN 33 2000-4-41 ed.2 - Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti před elektrickým proudem

ČSN 33 2000-5-52 ed.2 - Výběr a stavba elektrických vedení

ČSN 33 2000-6 ed.2 - Revize

ČSN 33 2000-7-712 ed.2 - Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické systémy.

Před uvedením zařízení do provozu musí být provedena řádná revize elektrické instalace a následně prováděna v časových intervalech podle normy ČSN 33 2000-6 ed.2. Navrhovaný materiál musí splňovat technické požadavky podle zákona č. 22/97 Sb. §12 a 13.

5.5.1 Dimenzování vodičů

Připojovací kabely fotovoltaiky budou připojeny přes MC4 kontakty do rozvodné skříně, kde se připojí na instalační vodiče směřující do regulátoru. Dimenzované vodiče budou s PVC izolací a uvažovaná okolní teplota bude 20 °C. Tato izolace má nejvyšší provozní teplotu do 70 °C. To plně vyhovuje požadavku vodiče pro napájení regulátoru, jehož maximální provozní teplota je 60°C. Referenční způsob uložení vodičů je B1 – izolované vodiče v elektroinstalační trubce na dřevěné stěně. Z tabulky 37 z [86] odečteme přepočítávací součinitel pro okolní teplotu vzduchu. V našem případě je přepočítávací součinitel $k=1,12$ vzhledem k okolní teplotě 20 °C. Rezistivita měděného vodiče je $\rho_{Cu}=0,01786 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ [86].

Celkově proběhnout dva výpočty průřezu vodiče. První bude pro vstupní stranu regulátoru a druhý bude pro výstupní stranu regulátoru.

1) Výpočet průřezu vodiče pro vstupní stranu regulátoru

Proudové zatížení vodiče určíme z proudu nakrátko:

$$I_{sc} = I_{B1} = 8,71 \text{ A}$$

Proudové zatížení vodiče s ohledem na okolní teplotu 20 °C:

$$I_{1k} = \frac{I_{B1}}{k} = \frac{8,71}{1,12} = 7,78 \text{ A}$$

Z tabulky 34 z [86] podle referenčního uložení B1 a přepočítaného vypočítaného proudového zatížení vodiče na teplotu 20 °C, by se zvolil průřez měděného vodiče 1,5 mm². To však neodpovídá standardům průřezu pro fotovoltaické systémy a tak pro určitou rezervu zvýšíme průřez měděného vodiče alespoň na 4 mm². Délka vodiče v rozvodné skříně bude 3 metry. Připojovací kabel fotovoltaiky k rozvodné skříně je délky 5 m s průřezem měděného vodiče 6 mm². Výpočet úbytku napětí se skládá z úbytku napětí připojovacího kabelu fotovoltaiky, úbytku napětí navrženého průřezu vodiče a bude se předpokládat určitý úbytek napětí na svorkách 0,1 V.

Úbytek napětí:

$$\Delta U_1 = \Delta U_{FVE} + \Delta U_{vodič1} + \Delta U_{svorky}$$

$$\Delta U_1 = 2 * \rho_{Cu} * \frac{l_{FV}}{S_{FV}} * I_{B1} + 2 * \rho_{Cu} * \frac{l_{vodič1}}{S_{vodič1}} * I_{B1} + 0,1$$

$$\Delta U_1 = 2 * 0,01786 * \frac{5}{6} * 8,71 + 2 * 0,01786 * \frac{3}{4} * 8,71 + 0,1$$

$$\Delta U_1 = 0,593 \text{ V}$$

2) Výpočet průřezu vodiče pro výstupní stranu regulátoru

Pro výpočet proudového zatížení vodiče

$$I_{B2} = \frac{P_{FV}}{U_2} = \frac{1000}{36} = 27,78 \text{ A}$$

Proudové zatížení vodiče s ohledem na okolní teplotu 20 °C:

$$I_{2k} = \frac{I_{B2}}{k} = \frac{27,78}{1,12} = 24,8A$$

Z tabulky 34 z [86] podle referenčního uložení B1 a přepočítaného proudového zatížení vodiče na teplotu 20 °C, bychom zvolily průřez měděného vodiče 4 mm², ale pro určitou rezervu zvedneme průřez vodiče aspoň na 6 mm². Délka tohoto vodiče v rozvodné skříni budou 4 metry. Výpočet úbytku napětí se skládá z úbytku napětí navrženého průřezu vodičů a úbytku napětí na svorkách.

Úbytek napětí:

$$\Delta U_2 = \Delta U_{\text{vodič2}} + \Delta U_{\text{svorky}}$$

$$\Delta U_2 = 2 * \rho_{Cu} * \frac{l_{\text{vodič2}}}{S_{\text{vodič2}}} * I_{B2} + 0,1$$

$$\Delta U_2 = 2 * 0,01786 * \frac{4}{6} * 27,78 + 0,1$$

$$\Delta U_2 = 0,762 V$$

Do rozvodné skříně byly zvoleny vodiče 2x4 mm² CYKY-O a 2x6 mm² CYKY-O průřezu od společnosti PRAKAB.[87] Ty budou sloužit na propojení FV systému s regulátorem, střídačem a bateriemi. Pro propojení vyrovnávačů napětí s bateriemi bude rovněž využit měděný vodič 6 mm².

5.5.2 Volba jistících prvků

1. Pojistky

Abychom mohli zvolit správný jmenovitý proud jistícího prvku I_N , musíme si vypočítat podmínku $I_B \leq I_N \leq I_Z$. Kde I_B je skutečné proudové zatížení a I_Z je dovolený proud, který může zařízením protékat. Tento dovolený proud nezpůsobí vyšší oteplení vodiče než maximální povolené oteplení daného vodiče při proudovém přetížení. Vodič s PVC izolací nesmí překročit při proudovém přetížení hodnotu 120 °C. Maximální dovolený proud pro měděný vodič s průřezem 4 mm² je 31 A a pro vodič 6 mm² je dovolený proud 40A. Tento dovolený proud se přepočítá na uvažovanou okolní teplotu 20 °C pomocí koeficientu k .

Výpočet dovoleného proudu na vstupní straně regulátoru:

$$I_{Z1} = I_{Nk1} * k = 31 * 1,12 = 34,72A$$

Podmínka přiřazení jmenovitého proudu pojistky:

$$I_{B1} \leq I_{N1} \leq I_{Z1}$$

$$8,71 \leq I_{N1} \leq 34,72$$

Byla vybrána válcová pojistka PV10 gG od firmy OEZ [88] se jmenovitým proudem I_{N1} 20A. Výpočtem se ověří, zda vyhoví dovolenému oteplení vodiče při přetížení. Pro výpočet je určující hodnota časové oteplovací konstanty τ vodiče. Je to doba, za kterou vodič nebo kabel dosáhne maximální ustálené teploty, během které se veškerá tepelná energie využívá na ohřev vodiče. Časovou oteplovací konstantu pro zvolené průřezy vodičů jsme získali od výrobce kabelů a vodičů PRAKAB $\tau_4=139$ s a $\tau_6=172$ s. Pro ověření byl vybrán bod doby přetavení pojistky $t_v=1000$ s a z tavné vypínací charakteristiky [86] se odečetla hodnota vypínacího proudu pojistky I_{p1} .

$$\vartheta_1 = (\vartheta_z - \vartheta_{okolí}) * \left(\frac{I_{p1}}{I_{z1}}\right)^{2,492} * \left(1 - e^{-\frac{t_v}{\tau_4}}\right) + \vartheta_{okolí} < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_1 = (70 - 20) * \left(\frac{33}{34,72}\right)^{2,492} * \left(1 - e^{-\frac{1000}{139}}\right) + 20 < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_1 = 64,02^\circ\text{C} < 120^\circ\text{C}$$

Výpočet dovoleného proudu na výstupní straně regulátoru:

$$I_{Z2} = I_{Nk2} * k = 40 * 1,12 = 44,8 \text{ A}$$

Podmínka přiřazení jmenovitého proudu pojistky:

$$I_{B2} \leq I_{N2} \leq I_{Z2}$$

$$27,78 \leq I_{N2} \leq 44,8$$

Byla vybrána válcová pojistka PV10 gG od firmy OEZ [88] se jmenovitým proudem I_{N2} 32A. Ověří se, zda vyhoví dovolenému oteplení vodiče při přetížení. Pro ověření byla vybrána doba přetavení pojistky $t_v=1000\text{s}$ a z tavné vypínací charakteristiky [88] se odečetla hodnota vypínacího proudu pojistky I_{p2} .

$$\vartheta_2 = (\vartheta_z - \vartheta_{okolí}) * \left(\frac{I_{p2}}{I_{Z2}}\right)^{2,492} * \left(1 - e^{-\frac{t_v}{\tau_6}}\right) + \vartheta_{okolí} < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_2 = (70 - 20) * \left(\frac{55}{44,8}\right)^{2,492} * \left(1 - e^{-\frac{1000}{172}}\right) + 20 < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_2 = 103,11^\circ\text{C} < 120^\circ\text{C}$$

Válcové pojistky budou vloženy do pojistkového odpínače OPV10 od firmy OEZ.[88]

2. Přepětová ochrana

Svodiče přepětí musí být navrženy pro maximální možné napětí FV panelů naprázdno. Napětí naprázdno FV panelu je dáno intenzitou slunečního záření dopadajícího na články panelu a na teplotě. S rostoucí intenzitou slunečního záření roste a s rostoucí teplotou naopak klesá. Největší napětí naprázdno panelů vzniká během mrazivého slunečního dne. Spojováním FV panelů do série zvětšujeme celkové stejnosměrné napětí. Konkrétní velikost napětí svodiče se volí vždy podle maximálního napětí naprázdno udávaného výrobcem při STC v závislosti na daném uspořádání FV panelů a podle normy ČSN EN 50539-11 s rezervou 20 %.[89] V našem případě bude volba maximálního provozního napětí svodiče.

$$U_{cPV} \geq 1,2 * 4 * U_{oc} = 1,2 * 4 * 37,8 = 181,44 \text{ V}$$

V našem případě nebude dodržena dostatečná přeskoková vzdálenost (s) mezi jímací soustavou a fotovoltaickým systémem, kterou určuje norma ČSN EN 62305-3 ed.2. V praxi se hodnota přeskokové vzdálenosti (s) pohybuje od 0,5 m do 1 m. Proto musí být zajištěno galvanické spojení rámu fotovoltaických panelů s hromosvodem o minimálním průřezu měděného vodiče 50 mm²[90], z důvodu možného úniku bleskových proudů do stejnosměrných obvodů. Uzemňovací doplňující pospojování musí být tvořeno měděným vodičem s průřezem alespoň 16 mm²[90]. Pro tento případ musí být instalován svodič přepětí typu 1 nebo kombinované svodiče přepětí typu 1+2 [89]. Délka vedení bude menší než 10 m a proto lze umístit svodiče přepětí na jednu stranu vedení.

Byla vybrána přepětová ochrana FLP-PV550 V/U typu 1+2 od firmy SALTEK.[91]

5.6 Návrh návratnosti investice

Pro výpočet návratnosti FV systému je nutné určit celkovou výši investice do fotovoltaické elektrárny a generující roční zisk vyrobené elektrické energie.

- Cenová kalkulace komponentů je zachycena v tabulce 14.
- Zvolená konfigurace čtyř fotovoltaických panelů dodává 1kWp výkonu.

Z dlouhodobých měření fotovoltaických panelů v našich zeměpisných šířkách víme, že z 1kWp instalovaného výkonu dostaneme ročně 1 MWh vyrobené elektrické energie.[92] Ve výpočtu budeme uvažovat s cenou elektrické energie od distributora E. ON, který v roce 2019 prodává 1 kWh elektrické energie za 4,81 Kč.

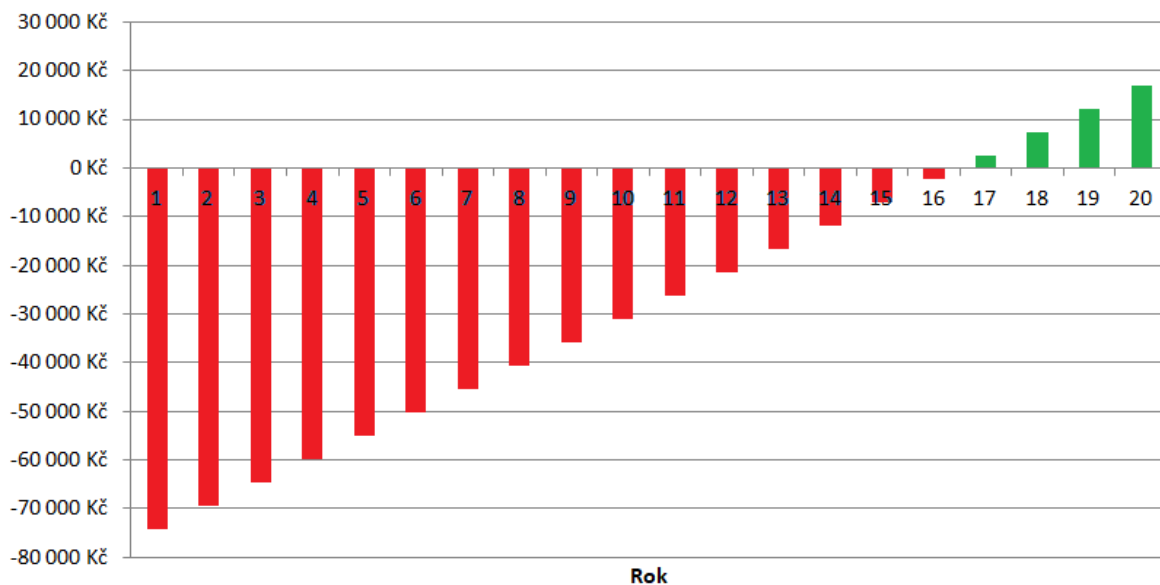
| Položka | Cena |
|------------------------------------|-----------|
| 4x FV panel Axitec AC-250P/156-60S | 17 625 Kč |
| Regulátor SmartSolar MPPT 150/35 | 8 820 Kč |
| Střídač Pure Sine Wave Inverter | 5 500 Kč |
| 2x Vyrovnávač napětí | 3 636 Kč |
| Měřič BMV 700 | 3 905 Kč |
| 3x Gelové baterie Sonnenschein | 27 900 Kč |
| Přepětová ochrana FLP-PV550 V/U | 5071 Kč |
| Elektroinstalační materiál | 1 500 Kč |
| Odhadovaná cena rozvaděče | 5 200 Kč |
| Celkem | 79 157 Kč |

Tab. 14 Cenová kalkulace fotovoltaického systému

$$Návratnost_{FV} = \frac{N_i}{P_{FVrok} * Sazba} = \frac{79157}{1000 * 4,81} = 16,46 \approx 16,5 \text{ let}$$

Když by se plně využila vyrobená elektrická energie pro účely nabíjení elektromobilů, byl by roční zisk 4810 Kč. V tomto ideálním případě by byla návratnost FV nabíjecí stanice do 16,5 let.

Návratnost FV systému



Obr. 37 Návratnost investice do FV systému

6 ZÁVĚR

Elektromobilita je poměrně nový obor, který se neustále vyvíjí. Při shromažďování dat a podkladů pro teoretickou část bylo zajímavé sledovat, jak se fakta z roku na rok mění. Diplomová práce na téma Využití solární energie pro elektromobilitu se zabývá v jednotlivých kapitolách základními vlastnostmi elektromobility a jejím možným rozvojem v rámci obnovitelného zdroje energie pocházejícího ze slunce.

V rámci práce jsou cíle diplomové práce patřičně vypracovány. První kapitola pojednává o potenciálu elektromobility na současném trhu. V následující kapitole jsou popsány elektromobily na solární energii a zpracován přehled solárních stanic. Ve třetí kapitole této práce je uvedeno srovnání konvenčního automobilu se spalovacím motorem a solárního elektromobilu z hlediska účinnosti využití slunečního záření. V závěrečné kapitole je samotný návrh a ekonomická návratnost investice do fotovoltaické nabíjecí stanice pro nabíjení elektromobilů City-El a Citroen Berlingo Electric.

Návrh fotovoltaického nabíjecího systému je tvořen z několika komponentů. Elektrická energie je vyráběna fotovoltaickými panely AC-250P/156-60S od firmy Axitec s výkonem 1kWp. Vývody fotovoltaických panelů jsou v podobě měděných vodičů průřezu 6 mm². Pomocí kontaktu MC4 se spojí s kabelem 2x4 mm² CYKY-O, který je připojen na vstupní stranu regulátoru SmartSolar MPPT 150/35 od firmy Victron Energy. Na výstupní straně regulátoru jsou navrženy vodiče 2x 6 mm², které jsou připojeny na 36 V akumulární systém gelových baterií. Pro měření toku výkonu a sledování stavu baterií je ve fotovoltaickém systému připojen měřič BMV 700 od firmy Victron Energy. V návrhu jsou zahrnuty vyrovnávače napětí, které vyváží nabíjecí proces a zamezí nadbytečné znehodnocení baterií. Elektromobil City-El je nabíjen na DC straně a jelikož se elektromobil Citroen Berlingo Electric nabíjí střídavým proudem, bylo nutné doplnit do FV systému střídač Pure Sine Wave Inverter 2000 W od firmy Reliable Electric. Schéma přečerpávacího fotovoltaického systému je uvedeno v příloze A.

Jištění fotovoltaického systému je obstaráno přepětovou ochranou a pojistkovými odpínači. Svodič přepětí musí mít maximální hodnotu provozního napětí vyšší než 181,44 V a jelikož není dodržena přesková vzdálenost alespoň 0,5 metru FV od hromosvodu, musí být instalován svodič přepětí typu 1+2. Přepětová ochrana je zvolena s nejbližší vyšší hodnotou maximálního provozního napětí FLP-PV550 V/U od firmy SALTEK. Jištění proti nadproudu je obstaráno pojistkovými odpojovači OPV10 od firmy OEZ. Pojistkové vložky válcových pojistek jsou napočítány na jmenovité proudy 20A a 32A tak, aby vyhovovali dovolenému oteplení PVC izolace při proudovém přetížení navrhovaných vodičů.

Celková investice do fotovoltaického systému činí 79 157 Kč. Návratnost fotovoltaického systému je kalkulována při distribuční sazbě 4,81 Kč/kWh. Díky dlouhodobým měřením fotovoltaických panelů lze určit, že z 1 kWp instalovaného výkonu se ročně vyrobí 1MWh energie. Z těchto hodnot je vyčíslena návratnost investice do 16,5 let.

Realizace fotovoltaické nabíjecí stanice neproběhla z důvodu absence elektromobilů a diplomová práce se více zaměřovala na teoretickou rovinu problematiky k danému tématu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Elektromobilita* [online]. Skupina ČEZ, 2014 [cit. 2017-10-17]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/o-nas/historie-elektromobility.html>
- [2] *Mezníky vědy: První elektromotory* [online]. 2012 [cit. 2017-10-17]. Dostupné z: <http://www.inuru.com/index.php/planeta/mezniky-vedy/468-historie-elektromobil-elektromotor>
- [3] *Jentazy, Křížík, Jeantaud a první elektromobily* [online]. 2010 [cit. 2017-10-17]. Dostupné z: <http://www.eurooldtimers.com/cze/historie-clanek/771-jenatzy-krizik-jeantaud-a-elektromobily.html>
- [4] *Kdo zabil elektromobil* [online]. 2006 [cit. 2017-10-18]. Dostupné z: <https://vimeo.com/172469917>
- [5] *GM EV1 1996–99* [online]. 2007 [cit. 2017-10-18]. Dostupné z: <https://en.wheelsage.org/gm/ev1/pictures/143206/>
- [6] *Tesla model S: cena, dojezd, specifikace* [online]. Hybrid.cz, 2014 [cit. 2017-11-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-s-cena-doejzd-specifikace>
- [7] *Model S* [online]. United States: Tesla, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/models/design>
- [8] *Tesla Model X: cena, dojezd, specifikace* [online]. Hybrid.cz, 2015 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-x-cena-doejzd-specifikace>
- [9] *Model X* [online]. United States: Tesla, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/modelx/design>
- [10] *Tesla Model 3: dvě verze, dojezd až 500 km!* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-3-dve-verze-doejzd-az-500-km>
- [11] *Model 3* [online]. United States: Tesla, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/model3>
- [12] *Tesla představila Model 3: dojezd 344 km, Supercharger a Autopilot* [online]. Hybrid, 2016 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-predstavila-model-3-doejzd-344-km-supercharger-autopilot>
- [13] *Škoda Vision E - první mladoboleslavský elektromobil se představuje v Číně* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/skoda-vision-e-prvni-mladoboleslavsky-elektromobil-se-predstavuje-v-cine>
- [14] *Jak bude vypadat produkce elektromobilů Škoda Auto v roce 2025?* [online]. ecoFuture, 2017 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/jak-bude-vypadat-produkce-elektromobilu-skoda-auto-v-roce-2025>
- [15] *8 Kroků ke konceptu* [online]. Škoda, 2017 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/8-kroku-ke-konceptu/>
- [16] *Proterra And LG Chem announce co-development of new battery cell* [online]. Proterra, 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <https://www.proterra.com/press-release/proterra-and-lg-chem-announce-co-development-of-new-battery-cell/>

- [17] *Nový rekord: elektrický autobus ujel na jedno nabití 1772 km* [online]. Obnovitelně, 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/180/novy-rekord-elektricky-autobus-ujel-na-jedno-nabiti-1772-km/>
- [18] *Elektrobus SOR EBN 8 / 9,5 / 11 městský/meziměstský* [online]. SOR, 2014 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.sor.cz/site/download/SOR-listy-CZ-1427718666.pdf>
- [19] *Autobusy s výfukem končí. V Hranicích bude MHD jezdit jen na baterky* [online]. Obnovitelně, 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/186/autobusy-s-vyfukem-konci-v-hranicich-bude-mhd-jezdit-jen-na-baterky/>
- [20] *Lithium price* [online]. Metalary, 2017 [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: <https://www.metalary.com/lithium-price/>
- [21] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [22] *How do Lithium Batteries Work?* [online]. Cadex, 2017 [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [23] *Types of Lithium-ion* [online]. Cadex, 2017 [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
- [24] *Elektromobilita v ČR* [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://www.fel.cvut.cz/education/prace/00025.pdf>. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.
- [25] *Nabíjení elektromobilu* [online]. Asociace elektromobilového průmyslu, 2014 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/d/viewer?msa=0&mid=1KYfZCxqw3Yei4TUz7gKFKowAlsc&ll=49.87676974508567%2C15.994869712196305&z=7>
- [26] *Connection system on the recharging spot – a key element for electric vehicles* [online]. Praha: Schneider Electric, 2010 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=998-2095-06-22-12AR0_EN.PDF&p_Doc_Ref=998-2095-06-22-12AR0_EN
- [27] *'How it works' - SuperCharger Station* [online]. Tesla, 2013 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://forums.tesla.com/forum/forums/updated-how-it-works-supercharger-station>
- [28] *Supercharger* [online]. Tesla, 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/findus#/bounds/65,55,34,-11,d?search=supercharger&name=Evropa>
- [29] FALVO, Maria Carmen, Danilo SBORDONE, Safak BAYRAM a Michael DEVETSIKIOTIS. *EV Charging Stations and Modes: International Standards* [online]. Itálie [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.728.1023&rep=rep1&type=pdf>
- [30] HRBÁČ, Lukáš. *Využití akumulčních kapacit elektromobilu pro další aplikace*. Brno, 2017. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.
- [31] *The Dynamic Road Ahead: England To Conduct Trials Of Dynamic Wireless Charging For Electric Cars* [online]. Altenergymag, 2016 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.altenergymag.com/article/2016/02/the-dynamic-road-ahead-england-to-conduct-trials-of-dynamic-wireless-charging-for-electric-cars/22820/>

-
- [32] *Jihokorejské elektrobusy získávají energii ze silnice* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/jihokorejske-elektrobusy-ziskavaji-energii-ze-silnice>
- [33] *Energetický mix ČR* [online]. ČSVE, 2018 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/energeticky-mix-cr/485>
- [34] *FAQ: How does a solar car work?* [online]. Lightyear, 2017 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://lightyear.one/faq-how-solar-car-works/>
- [35] *History* [online]. Lightyear, 2018 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://lightyear.one/history/>
- [36] *Evropský elektromobil na solární pohon Lightyear One ještě není na trhu a už sbírá ceny* [online]. Obnovitelně, 2018 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/297/evropsky-elektromobil-na-solarni-pohon-lightyear-one-jeste-neni-na-trhu-a-uz-sbira-ceny/>
- [37] *Clean and affordable mobility for everyone* [online]. Lightyear, 2018 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://lightyear.one/mission/>
- [38] *FAQ* [online]. Lightyear, 2018 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <https://lightyear.one/i-want-one/#faq>
- [39] *Information Sheet Sion* [online]. Sono Motors, 2018 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://sonomotors.com/wp-content/uploads/Information_Sheet_Sion_EN.pdf
- [40] *FAQ* [online]. Sono Motors [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://sonomotors.com/frequently-asked-questions.html/>
- [41] *Story* [online]. Sono Motors [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://sonomotors.com/story.html/>
- [42] *History* [online]. World Solar Challenge [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/about_wsc/history
- [43] *Overview* [online]. World Solar Challenge [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/about_wsc/overview
- [44] *3,000km route of World Solar Challenge*. [online]. Hideki Kimura, 2009 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Australia_ggc_route.png
- [45] *2019 Regulations* [online]. World Solar Challenge, 2018 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/files/2272_2019_bwsc_regulations_release_version_3.pdf
- [46] *CHALLENGER CLASS* [online]. World Solar Challenge, 2019 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/event-information/2017_classes/challenger_class
- [47] *CRUISER CLASS* [online]. World Solar Challenge, 2019 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/event-information/2017_classes/cruiser_class
- [48] *ADVENTURE CLASS* [online]. World Solar Challenge, 2019 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/event-information/2017_classes/adventure_class
- [49] *Nuna9 solar car revealed* [online]. TUDelft, 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.tudelft.nl/en/2017/tu-delft/nuna9-solar-car-revealed/>
- [50] *Nuna9, a very powerful solar racing car* [online]. Vattenfall, 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z:

- https://corporate.vattenfall.com/globalassets/corporate/about_vattenfall/sponsorship/nuna_9_24aug_2017_english.pdf
- [51] *Futuristic solar-powered Dutch family car hailed 'the future'* [online]. The Straits Times, 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.straitstimes.com/asia/australianz/futuristic-solar-powered-dutch-family-car-hailed-the-future>
- [52] *Stella Vie: Nejefektivnější rodinné auto na světě* [online]. AUTOECO, 2017 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://www.autoeco.cz/elektromobily/2017/11/12/stella-vie-nejefektivnejsi-rodinne-auto-na-svete/>
- [53] *Dutch students target solar-powered three-peat with five-seat Stella Vie* [online]. NEW ATLAS, 2017 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <https://newatlas.com/university-eindhoven-stella-vie-world-solar-challenge/50159/>
- [54] *World Solar Challenge 2017 Team List* [online]. Scientific Gems, 2017 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://scientificgems.wordpress.com/2017/01/19/world-solar-challenge-2017-team-list/>
- [55] *N海大学, 2017*
ブリヂストン・ワールド・ソーラー・チャレンジ」に参戦する新型車両「17 Tokai Challenger」 初公開 [online]. Car Watch, 2017 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1078031.html>
- [56] *N海大学, 「17 Tokai Challenger」 と 「ワールド・ソーラー・チャレンジ」 参戦体制を発表* [online]. Motor Fan, 2017 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://motor-fan.jp/tech/10000855>
- [57] *Princip fotovoltaiického článku* [online]. elektrika.cz, 2009 [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaiickeho-clanku/view>
- [58] MASTNÝ, Petr, Jan MORÁVEK a Jiří PITRON. *Malé zdroje elektrické energie*. Brno, 2015. Skripta. FEKT VUT.
- [59] *Fotovoltaiika* [online]. TZB-ENERG [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaiika.html>
- [60] *Fotovoltaiické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. CNE [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaiicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [61] *Který je nejlepší solární regulátor pro můj systém? MPPT nebo PWM?* [online]. Solarway, 2017 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <http://cz.solvowel.com/info/which-is-the-best-solar-controller-for-my-syst-23150087.html>
- [62] *Jaký je rozdíl mezi levným PWM a dražším MPPT regulátorem* [online]. Ostrovní elektrárny, 2012 [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://ostrovní-elektrarny.tumblr.com/post/24832727622/jak%C3%BD-je-rozd%C3%ADl-mezi-levn%C3%BDm-pwm-a-dra%C5%BE%C5%A1%C3%ADm-mppt>
- [63] *Hybridní fotovoltaiický systém* [online]. Solarenavi, 2014 [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/a-7-hybridni-fotovoltaiicky-system.html>
- [64] *Je možné elektromobil nabíjet pomocí solárních panelů?* [online]. E.ON [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/alternativni-doprava/elektromobily-a-jejich-vyhody/jde-nabit-elektromobil-pomoci-solarnich-panelu>

- [65] *Solární nabíječka pro elektromobily* [online]. Hybrid, 2012 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/solarni-nabijacka-dostupna-take-v-cr>
- [66] *Jak snadno dobít elektromobil? Stačí solární přístřešek* [online]. Logio, 2014 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://blog.logio.cz/2014/06/16/snadno-dobit-elektromobil-staci-solarni-pristresek/>
- [67] *San Francisco zavádí dobíjení elektromobilů zdarma* [online]. Hybrid, 2015 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/san-francisko-zavadi-dobijeni-elektromobilu-zdarma>
- [68] *Solární parkoviště - více užitku z jedné instalace* [online]. ASB-portal, 2010 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika/solarni-parkoviste-vice-uzitku-zjedne-instalace>
- [69] *PRE v Praze spustila solární nabíjecí stanici pro elektromobily* [online]. Praha: Ekolist, 2018 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/pre-v-praze-spustila-solarni-nabijeci-standici-pro-elektromobily>
- [70] FIRST, Jiří. *Energetická analýza pozemní dopravy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05664-6
- [71] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. Vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství, 2003. ISBN 80-238-8356-4
- [72] BEROUN, Stanislav. *Vozidlové motory*. Liberec. Skripta. TUL.
- [73] *Výhody a nevýhody elektromobilů: Proč třeba nepotřebují převodovku? A jak je to s jejich účinností?* [online]. 2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/elektromobil-jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-121938>
- [74] *Srovnání energetické ztráty elektromobilů a běžných aut* [online]. 2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/srovnani-energeticke-zraty-elektromobilu-a-beznych-aut-21000070>
- [75] *Tesla Model 3 využívá šetrnější, levnější elektromotory* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-3-vyuziva-setrnejsi-levnejsi-elektromotory>
- [76] *Účinnost elektrických motorů a snižování spotřeby elektrické energie* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/ucinnost-elektrickych-motoru-a-snizovani-spotreby-elektricke-energie--12053>
- [77] *Elektrické stroje*. Brno. Skripta. VUT.
- [78] *Motory s velmi vysokou účinností – budoucnost elektropohonů* [online]. 2015 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_na_dosah/Documents/2016_leden/Nove%20tridy%20ucinnosti%20motoru_Postup%20pri%20vyberu%20motoru_2015-10_4str.pdf
- [79] *PROČ ELEKTROMOBIL?* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.elektromobily-os.cz/proc-elektromobil>
- [80] *Trakční gelové baterie Sonnenschein* [online]. TOP Battery [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.topbattery.cz/baterie-akumulatory/trakcni-baterie/trakcni-gelova-baterie-sonnenschein-gf-12-105-v-12v-120ah.html>
- [81] *Datasheet pre Axitec AC-250P/156-60S* [online]. AXIworldpower [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: http://solarni-panely.cz/content/download/4987/37578/file/Axitec_250Wp.pdf

- [82] *Regulátor nabíjení BlueSolar MPPT 150/35* [online]. Victron Energy, 2018 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Manual-BlueSolar-charge-controller-MPPT-150-35-CZ-ul.pdf>
- [83] *VictronBatériový balancér* [online]. Victron Energy [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.ecoproduct.cz/i/gallery/056/137/manual-battery-balancer-sk.pdf>
- [84] *Monitor baterie: BMV-700* [online]. Victron Energy B.V., 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Manual-BMV-700-700H-702-712-CZ.pdf>
- [85] *2000W Off Grid DC to AC Pure Sine Wave Solar Power Inverter* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: http://www.powerreliable.com/index.php/product/2000W_Off_Grid_DC_to_AC_Pure_Sine_Wave_Solar_Power_Inverter-1
- [86] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno, 2015. VUT Brno.
- [87] *Katalog produktů: PRAKAB* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.prakab.cz/upload/PRAKAB_katalog.pdf
- [88] *Varius: Pojistkové systémy* [online]. OEZ, 2012 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://www.elima.cz/storage/OEZ-navod_PNA.pdf
- [89] *Volba svodičů přepětí pro fotovoltaické aplikace* [online]. HakeL [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://www.reposttechnik.cz/wp-content/uploads/2016/11/photovoltaic_CZ.pdf
- [90] *Přepětové ochrany pro fotovoltaické systémy - zapojování, značení* [online]. Saltek [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43313.pdf>
- [91] *FLP-PV550 V/U* [online]. Saltek [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.saltek.eu/vyrobky/flp-pv550-vu>
- [92] *Návratnost a výnosy* [online]. ISOFEN ENERGY [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Navratnost-fotovoltaicke-elektrarny.aspx>

PŘÍLOHY

Příloha A - Schéma zapojení fotovoltaického systému

